

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA
DOS FORNOS DE UMA
INDÚSTRIA DO SECTOR CERÂMICO
-
ANEXOS**

JOANA ALVES FERREIRA DA CRUZ

Mestrado em Engenharia Química
Ramo Optimização Energética na Indústria Química
Julho 2009



OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS FORNOS DE UMA INDÚSTRIA DO SECTOR CERÂMICO

Trabalho realizado por:

Joana Alves Ferreira da Cruz

Nº 1030714

Orientadores:

Doutora Anabela Guedes (ISEP)

Doutora Simone Morais (ISEP)

Eng. Henrique Barros (Valadares)

Índice

Anexo A - Resultados Experimentais e Calculados	I
Anexo B - Exemplos de cálculo	XLV
Anexo C – Gráficos utilizados para leituras	LXII
Anexo D – Características do anemómetro utilizado para as medições da velocidade do ar	LXVI
Anexo E – Ficha de dados de segurança do combustível	LXVII
Anexo F – Capacidades caloríficas	LXVIII

Índice de figuras

Figura A.1 – Evolução da temperatura das paredes do lado direito, esquerdo e do tecto, ao longo do comprimento do forno 4.	XXXV
Figura C.1 – Curva característica do ventilador da tiragem aspiradora, do forno 4.	LXII
Figura C.2 – Curva característica do ventilador do ar quente da etapa de arrefecimento, do forno 4.	LXIII
Figura C.3 – Curva da percentagem de Oxigénio em função do tempo de cozedura, para o forno intermitente 3i.	LXIV
Figura C.4 – Representação da Pressão em função do caudal volumétrico, nos ventiladores do forno 4.	LXV
Figura F.1 – Valores das constantes empíricas utilizadas para o cálculo das capacidades caloríficas do ar, dos gases de combustão e da H ₂ O.	LXVIII

Índice de tabelas

Tabela A.1 – Representação e constituição dos componentes das vagonas do forno 3i.	I
Tabela A.2 – Massa dos constituintes de uma vagona do forno 3i.	III
Tabela A.3 – Representação e constituição dos componentes das vagonas do forno 4.	IV
Tabela A.4 – Massa dos constituintes de uma vagona do forno 4.	V
Tabela A.5 – Lista de mobília refractária das peças de louça sanitária, com o seu desenho técnico ou fotografia, volume e massa respectiva.	VI
Tabela A.6 – Registo da massa de refractário associada a cada peça de louça sanitária, bem como a massa da mobília refractária em carboneto de silício, quando é viável esta mudança, para o forno 4.	XX
Tabela A.7 – Registo dos valores da combustão estequiométrica do gás natural.	XXX
Tabela A.8 – Dados sobre a composição do gás natural.	XXXI
Tabela A.9 – Composição em massa e volume dos gases húmidos, para cada valor de excesso de ar.	XXXII
Tabela A.10 – Valores calculados do caudal volumétrico e mássico de gás nos seis grupos de queima e o caudal de ar estequiométrico e real a entrar no forno 4.	XXXIII
Tabela A.11 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o caudal térmico perdido para a parede do lado direito e esquerdo do forno 4.	XXXIV
Tabela A.12 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o caudal térmico perdido no tecto do forno 4.	XXXV
Tabela A.13 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 200°C.	XXXVI
Tabela A.14 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 400°C.	XXXVII
Tabela A.15 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 600°C.	XXXVIII
Tabela A.16 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 800°C.	XXXIX
Tabela A.17 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 1000°C.	XL
Tabela A.18 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 1200°C.	XLI
Tabela A.19 – Registo do calor perdido pelas três superfícies do forno 3i.	XLII
Tabela A.20 – Lista do material refractário a utilizar para a substituição na “mobília refractária”.	XLIII

Anexo A - Resultados Experimentais e Calculados:

- Material refractário que constitui as vagonas dos fornos

Tabela A.1 – Representação e constituição dos componentes das vagonas do forno 3i.


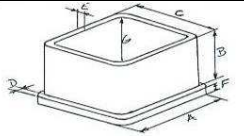
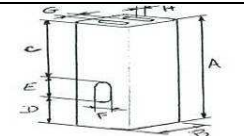
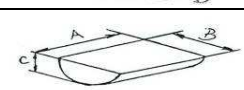
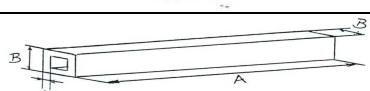
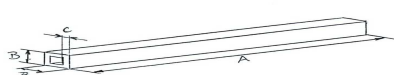
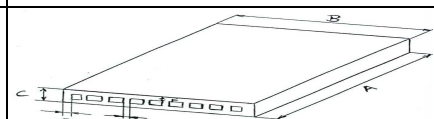
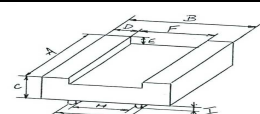
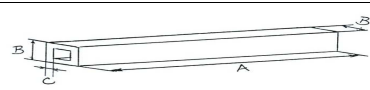

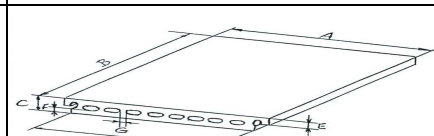
	Componente	Figura	Material
1º Andar	Tijolo (T2)		Isolante
	Encaixe de pilar (X5)		Cordierite
	Pilar (R7)		Cordierite
	Calços “meio cilindro” (C7)		Cordierite
	Longarina (L8)		Carboneto de silício
	Longarina (L9)		Carboneto de silício
	Placa (P 8)		Cordierite
2º Andar	Capitel (X2)		Cordierite
	Longarina (L8)		Carboneto de silício
	Longarina (L9)		Carboneto de silício
	Placa (P11)		Cordierite

Tabela A.1 – Continuação

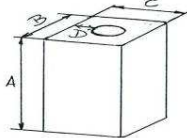


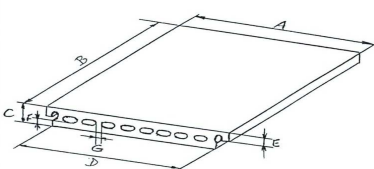
3º Andar	Pilar (R4)		Cordierite
	Longarina (L10)		Carboneto de silício
	Longarina (L9)		Carboneto de silício
	Placa (P11)		Cordierite

Tabela A.2 – Massa dos constituintes de uma vagona do forno 3i.

Vagona F3i	Massa (kg)
1º Andar	
6 Encaixes pilar (X5)	52,86
6 Pilares (R7)	192,00
12 Calços (C7)	3,12
3 Longarinas (L8)	28,14
12 Longarinas (L9)	41,76
20 Placas (P8)	118,00
6 Capiteis (X2)	3,48
Total (1º andar)	439,36
2º Andar	
3 Longarinas (L8)	28,14
20 Placas (P11)	212,00
12 Barras (L9)	41,76
Total (2º andar)	281,90
3º Andar	
16 Placa (P11)	169,60
6 Pilares (R4)	25,68
3 Longarinas (L10)	17,85
11 Longarinas (L9)	38,28
Total (3º Andar)	81,81
Massa total refractário na vagona	803,07

Tabela A.3 – Representação e constituição dos componentes das vagonas do forno 4.


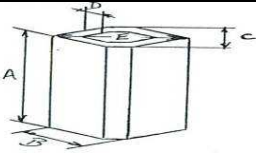
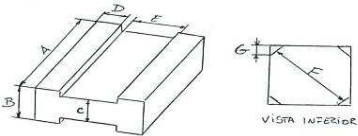
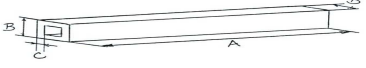
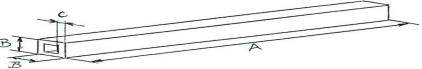
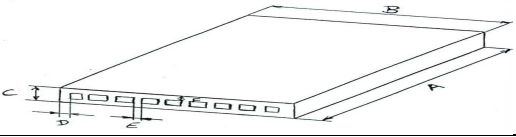
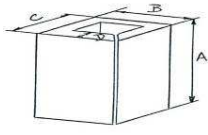
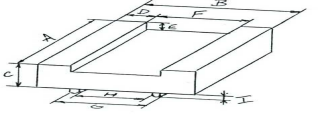
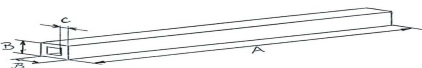
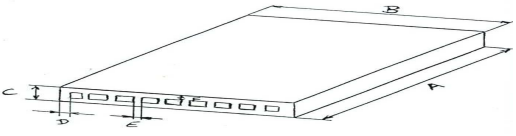
	Componente	Figura	Material
1º Andar	Tijolo (T1)		Isolante
	Pilar (R2)		Cordierite
	Capitel (X1)		Cordierite
	Longarina (L1)		Carboneto de silício
	Longarina (L2)		Carboneto de silício
	Placa (P 1)		Cordierite
2º Andar	Pilar (R5)		Cordierite
	Capitel (X2)		Cordierite
	Longarina (L2)		Carboneto de silício
	Placa (P 1)		Cordierite

Tabela A.4 – Massa dos constituintes de uma vagona do forno 4.

Vagonas F4	
1º Andar	Massa (kg)
10 Placas (P1)	145,00
4 Pilares (R3)	18,24
2 Longarinas (L1)	10,94
5 Longarinas (L2)	24,20
4 Capiteis (X1)	2,28
Total (1º Andar)	200,66
2º Andar	
5 Placas (P1)	72,50
4 Pilares (R5)	16,40
2 Longarinas (L2)	9,68
4 Capiteis (X2)	2,32
Total (2º Andar)	100,90
Massa total refractário na vagona	301,56

- **Lista de “mobília refractária” das peças de louça**

Tabela A.5 – Lista de mobília refractária das peças de louça sanitária, com o seu desenho técnico ou fotografia, volume e massa respectiva.

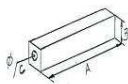
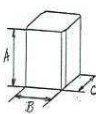

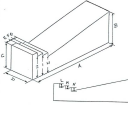
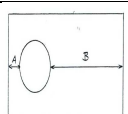
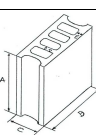
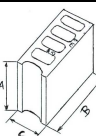
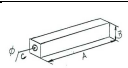
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
BACIA ESTORIL/ THEMA COMPACTA AO CHÃO	C5	Calço	0,42	Cordierite		218	0,42	1	0,42	0,42	0,42	0,42
LAVA-MÃOS EUROPA	C15	Calço	0,22	Isolante		228	0,22	1	0,22	0,22	0,22	0,22
LAVATÓRIO OCEANUS JÚNIOR /NORMAL	P4	Placa Extrudida	6,15	Cordierite		3187	2,24	1	6,15	2,24	8,63	4,72
	C1	Calço	1,24	Cordierite		642	1,24	2	2,48	2,48		
BACIA NEOCLÁSSICA COMPACTA AO CHÃO	P3	Placa Extrudida	5,90	Cordierite		3057	2,51	1	5,90	2,51	10,02	6,63
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
	C5	Calço	0,42	Cordierite		218	0,42	2	0,84	0,84		

Tabela A.5 - Continuação



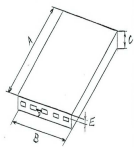
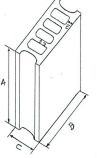
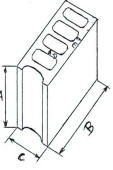
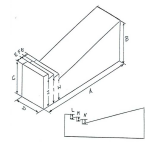
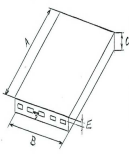
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVA-MÃOS NEO. C/ ESPALDAR 2F 1CAD	C10	Calço	0,29	Isolante		351	0,29	1	0,29	0,29	0,29	0,29
LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO INFANTIL 1 FURO	C11	Calço	0,31	Isolante		374	0,31	1	0,31	0,31	0,31	0,31
Banco Bacia/Bidé - BACIA E BIDÉ NAUTILUS /N. SUSPENSA - BACIA E BIDÉ ESTORIL - BACIA MONTEROSA - BACIA E BIDÉ NEOCLÁSSICA - BACIA E BIDÉ CONCORDE - BIDÉ TAGUS - BIDÉ THEMA - BACIA P/ ISRAEL - BACIA E BIDÉ EUROPA /EUR. SUSP./EUR PLUS - BACIA E BIDÉ OPUS - BACIA E BIDÉ OCEANUS - BACIA E BIDÉ IMAGE - BACIA E BIDÉ ELEGANCE - BIDÉ OPORTO SUSPENSO - BACIA E BIDÉ NANTES/ NANTES SUSP. - BACIA P/ DEFICIENTES - BACIA "BACK TO WALL" - BACIA E BIDÉ OPORTO	P2	Placa Extrudida	6,50	Cordierite		3368	2,77	1	6,50	2,77	12,26	7,03
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
Plano lav. grande - LAV. ESTORIL /EST. SUSP. - LAV. EUROPA NORMAL - LAV. OCEANUS NORMAL - LAV. ELEGANCE NORMAL - LAV. MONTEROSA NOR. - LAV. NEOCLÁSSICO NOR. - LAV. TORINO - LAV. OPORTO NORMAL - LAV. TAGUS NORMAL - LAV. GALLERY	C1	Calço	1,24	Cordierite		642	1,24	2	2,48	2,48	10,28	4,97
	P25	Placa	7,80	Cordierite		4041	2,49	1	7,80	2,49		

Tabela A.5 - Continuação

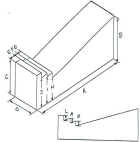
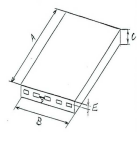
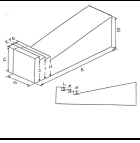
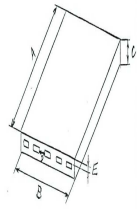
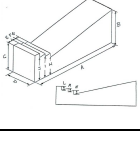
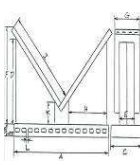

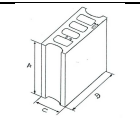
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
Plano lav. Médio - LAV. CONCORDE - LAV. EUROPA MÉDIO - LAV. OCEANUS MÉDIO - LAV. NEOCLÁSSICO JÚNIOR/ MÉDIO/ C/ ESPALD. - LAV. TOP /TOP PLUS - LAV. IMAGE NORMAL - LAV. OPORTO MÉDIO - LAV. EROS (2)	C1	Calço	1,24	Cordierite		642	1,24	2	2,48	2,48	8,78	4,49
	P26	Placa	6,30	Cordierite		3264	2,01	1	6,30	2,01		
Plano lav. Pequeno LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR LAVATÓRIO OCEANUS JÚNIOR LAVATÓRIO MONTEROSA JÚNIOR LAVATÓRIO MADEIRA LAVATÓRIO ROMA LAVATÓRIO IMAGE JÚNIOR LAV.EROS LAV. RECIFE PLUS	C1	Calço	1,24	Cordierite		642	1,24	2	2,48	2,48	8,33	4,35
	P27	Placa	5,85	Cordierite		3031	1,87	1	5,85	1,87		
LAV. DE CANTO / LAV. CEUTA	C1	Calço	1,24	Cordierite		642	1,24	2	2,48	2,48	12,28	12,28
	S6	Suporte	9,80	Cordierite		5078	9,80	1	9,80	9,80		
LAVATÓRIO MONTE CARLO 1F 2ESB	P46	Placa	6,30	SiC		2046	6,30	1	6,30	6,30	16,38	16,38
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		

Tabela A.5 - Continuação

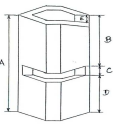
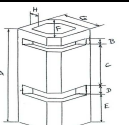
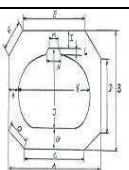
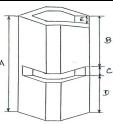
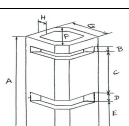
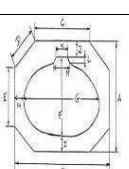
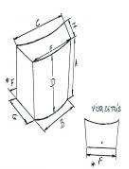
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAV.BRAVA /LAV.FUNCHAL/ LAV.OÁSIS/ LAV.LENA	R2	Pilar	4,28	Cordierite		2218	4,28	2	8,56	8,56	11,41	11,41
	R1	Pilar	4,26	Cordierite		2207	4,26	1	4,26	4,26		
	E2	Placa	5,00	SiC		1623	5,00	2	10,00	10,00		
LAVATÓRIO MIRAMAR	R2	Pilar	4,28	Cordierite		2218	4,28	2	8,56	8,56	10,71	10,71
	R1	Pilar	4,26	Cordierite		2207	4,26	1	4,26	4,26		
	E1	Placa	4,30	SiC		1396	4,30	2	8,60	8,60		
LAVATÓRIO MIRAMAR (recozedura)	C6	Calço	2,65	Sanitário		1373	2,65	1	2,65	2,65	2,65	2,65

Tabela A.5 - Continuação

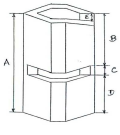
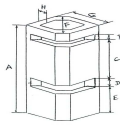
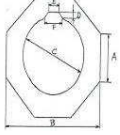



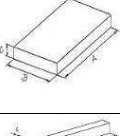
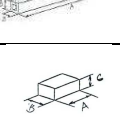


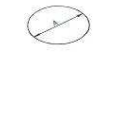

Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAV.MÓNACO/ LAV.GOA/ LAV.TUNIS	R2	Pilar	4,28	Cordierite		2218	4,28	2	8,56	8,56	9,71	9,71
	R1	Pilar	4,26	Cordierite		2207	4,26	1	4,26	4,26		
	E3	Placa	3,30	SiC		1071	3,30	2	6,60	6,60		
LAVATÓRIO NILO	C2	Calço	1,78	Sanitário		3374	1,78	1	1,78	1,78	1,78	1,78
URINOL FLÓRIDA	B6	Barra	1,00	SiC		325	1,00	1	1,00	1,00	19,40	6,87
	P28	Placa	18,40	Cordierite		9534	5,87	1	18,40	5,87		
URINOL NIAGARA	P12	Placa	10,40	Cordierite		5389	3,79	1	10,40	3,79	47,24	20,69
	B4	Barra	3,70	SiC		1201	3,70	2	7,40	7,40		
	C9	Calço	0,070	Cordierite		36	0,070	2	0,14	0,14		
	P13	Placa	18,40	Cordierite		9539	5,87	1	18,40	5,87		
	P14	Placa	10,90	Cordierite		5648	3,48	1	10,90	3,48		
PIA HOSPITALAR	C14	Calço	0,44	Cordierite		228	0,44	1	0,44	0,44	0,44	0,44

Tabela A.5 - Continuação

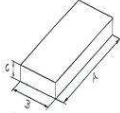

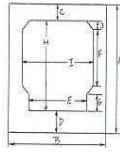


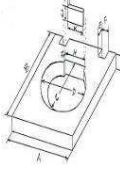
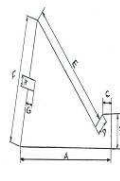
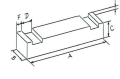
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
PIA TURCA	P16	Placa	5,90	Cordierite		3057	2,51	1	5,90	2,51	26,54	9,95
	B5	Barra	2,00	SiC		649	2,00	2	4,00	4,00		
	P17	Placa	16,50	Cordierite		5357	3,30	1	16,50	3,30		
	C9	Calço	0,070	Cordierite		36	0,070	2	0,14	0,14		
BACIA INFANTIL	C13	Calço	0,24	Cordierite		124	0,24	1	0,24	0,24	0,24	0,24
LAVATÓRIO MIAMI	P5	Placa	6,20	Cordierite		3212	2,64	1	6,20	2,64	12,80	9,23
	S3	Suporte	2,92	Cordierite		1513	2,92	2	5,84	5,84		
	B1	Barra	0,76	Cordierite		391	0,76	1	0,76	0,76		

Tabela A.5 - Continuação


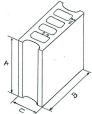
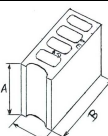
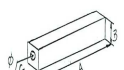
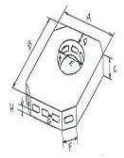

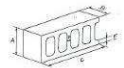




Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVATÓRIO RIO	P29	Placa	5,00	SiC		1623	5,00	1	5,00	5,00	9,42	9,42
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
	C18	Calço	0,87	Cordierite		451	0,87	2	1,74	1,74		
LAVATÓRIO BOSTON	P6	Placa	2,49	Cordierite		1290	1,06	1	2,49	1,06	3,72	2,29
	S4	Suporte	0,55	Cordierite		285	0,55	2	1,10	1,10		
	S5	Suporte	0,68	Cordierite		352	0,68	2	1,36	1,36		
LAVATÓRIO ATLANTA	C19	Calço	0,83	Cordierite		430	0,83	2	1,66	1,66	10,00	4,32
	P30	Placa	8,34	Cordierite		4321	2,66	1	8,34	2,66		
LAVATÓRIO BÚZIOS	C20	Calço	2,00	Cordierite		1036	2,00	2	4,00	4,00	10,65	6,12
	P31	Placa	6,65	Cordierite		3446	2,12	1	6,65	2,12		

Tabela A.5 - Continuação

Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVA-MÃOS VÊNUS	C21	Calço	0,21	Cordierite		109	0,21	1	0,21	0,21	12,75	9,41
	P32	Placa	5,82	Cordierite		3016	2,48	1	5,82	2,48		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
LAVATÓRIO URÂNIO	C22	Calço	0,25	Cordierite		130	0,25	1	0,25	0,25	14,87	9,49
	P33	Placa	7,90	Cordierite		4093	2,52	1	7,90	2,52		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
COBRE-JUNTA CURVO	C3	Calço	1,00	Cordierite		518	1,00	1	-	-	-	1,00

Tabela A.5 - Continuação



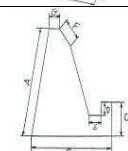
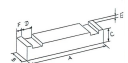
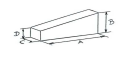
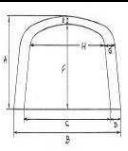


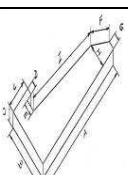

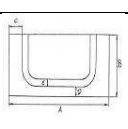

Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
TANQUE TAGUS	P7	Placa	2,40	Cordierite		1244	1,23	1	2,40	1,23	16,34	12,28
	P8	Placa	5,90	Cordierite		3057	3,01	1	5,90	3,01		
	S7	Suporte	2,37	Cordierite		1228	2,37	2	4,74	4,74		
	B2	Barra	0,58	Cordierite		301	0,58	1	0,58	0,58		
	C4	Calço	0,075	Cordierite		39	0,075	2	0,15	0,15		
	P24	Placa	2,57	Vitreous		1452	2,57	1	2,57	2,57		
TANQUE ASSIMÉTRICO/ NAUTILUS	P34	Placa maior	10,50	Cordierite		5440	3,35	1	10,50	3,35	22,55	12,75
	P35	Placa menor	3,90	Cordierite		2021	1,24	1	3,90	1,24		
	S9	Suporte	3,10	Cordierite		1606	3,10	2	6,20	6,20		
	C16	Calço	0,10	Cordierite		52	0,10	2	0,20	0,20		
	P22	Placa cozedura	1,75	Vitreous		596	1,75	1	1,75	1,75		
	B7	Travessa	0,60	Cordierite		311	0,60	1	0,60	0,60		

Tabela A.5 - Continuação

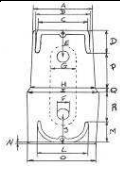
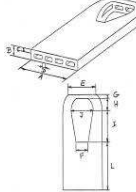

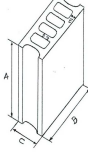
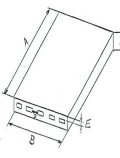
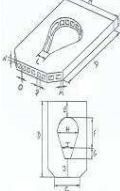
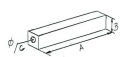
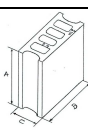
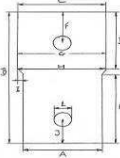
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
COLUNA ASSIMÉTRICA SUSPensa	P20	Placa	2,25	Vitreous		1341	2,25	1	2,25	2,25	2,25	2,25
LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO MÉDIO	P18	Placa	3,13	Cordierite		1619	3,13	1	3,13	3,13	18,45	14,71
	C17	Calço	1,05	Cordierite		544	1,05	2	2,10	2,10		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	P2	Placa Extrudida	6,50	Cordierite		3368	2,77	1	6,50	2,77		
LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO DE POUSAR	P19	Placa	8,30	Cordierite		4301	2,65	1	8,30	2,65	12,53	6,88
	C18	Calço	0,87	Cordierite		451	0,87	2	1,74	1,74		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
BIDÉ ASSIMÉTRICO	P23	Placa	2,96	Vitreous		1920	2,96	1	2,96	2,96	2,96	2,96

Tabela A.5 - Continuação


Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVATÓRIO NAUTILUS MÉDIO	P29	Placa	5,00	SiC		1623	5,00	1	5,00	5,00	12,59	12,59
	C23	Calço	3,17	Cordierite		1642	3,17	1	3,17	3,17		
	C18	Calço	0,87	Cordierite		451	0,87	2	1,74	1,74		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
LAVATÓRIO NAUTILUS DE POUSAR	P29	Placa	5,00	SiC		1623	5,00	1	5,00	5,00	10,23	10,23
	C24	Calço	0,81	Cordierite		420	0,81	1	0,81	0,81		
	C18	Calço	0,87	Cordierite		451	0,87	2	1,74	1,74		
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
LAVATÓRIO NANTES JÚNIOR	P37	Placa	6,24	Cordierite		3233	1,99	1	6,24	1,99	6,99	2,74
	C25	Calço	0,25	Vitreous		130	0,25	1	0,25	0,25		
	B8	Barra	0,25	Cordierite		130	0,25	2	0,50	0,50		

Tabela A.5 - Continuação




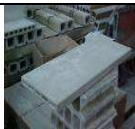




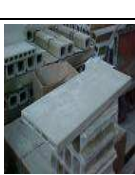

Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVATÓRIO NANTES MÉDIO	P38	Placa (rec)	10,65	Cordierite		5518	3,40	1	10,65	3,40	23,81	14,11
	C26	Calço	0,39	Vitreous		202	0,39	1	0,39	0,39		
	S10	Suporte	3,80	Cordierite		1969	3,80	2	7,60	7,60		
	P39	Placa lisa	4,25	Cordierite		2202	1,81	1	4,25	1,81		
	B9	Travessa	0,92	Cordierite		474	0,92	1	0,92	0,92		
LAVATÓRIO NANTES NORMAL	P38	Placa (rec)	10,65	Cordierite		5518	3,40	1	10,65	3,40	23,73	14,03
	C27	Calço	0,31	Vitreous		161	0,31	1	0,31	0,31		
	S10	Suporte	3,80	Cordierite		1969	3,80	2	7,60	7,60		
	P39	Placa lisa	4,25	Cordierite		2202	1,81	1	4,25	1,81		
	B9	Travessa	0,92	Cordierite		474	0,92	1	0,92	0,92		

Tabela A.5 - Continuação














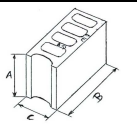


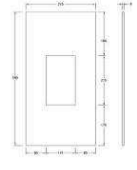


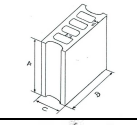
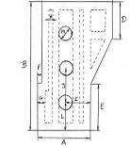
Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVATÓRIO LIGHT MÉDIO	P40	Placa (rec)	10,00	Cordierite		5181	3,19	1	10,00	3,19	37,25	20,57
	S11	Suporte	4,00	Cordierite		2073	4,00	2	8,00	8,00		
	B10	Travessa menor	1,45	Cordierite		751	1,45	1	1,45	1,45		
	B11	Travessa maior	1,50	Cordierite		777	1,50	1	1,50	1,50		
	P41	Placa	14,50	Cordierite		7513	4,63	1	14,50	4,63		
	B12	Barra	1,80	SiC		584	1,80	1	1,80	1,80		
LAVATÓRIO OPUS JÚNIOR	P42	Placa (rec)	7,65	Cordierite		3964	2,44	1	7,65	2,44	22,10	14,02
	S12	Suporte	4,10	Cordierite		2124	4,10	2	8,20	8,20		
	B13	Travessa	1,00	Cordierite		518	1,00	1	1,00	1,00		
	C28	Calço	0,25	Vitreous		130	0,25	1	0,25	0,25		
	P43	Placa	5,00	Cordierite		2591	2,13	1	5,00	2,13		

Tabela A.5 - Continuação

Designação	Cod ref.	Obs.	m peça act. (kg)	Comp.ref	Modelo/ Fotografia	Vpref (cm³)	m peça alt. (kg)	Nº unid	m peça act. x nº unid (kg)	m peça alt.x nº unid (kg)	m total act. (kg)	m total alter. (kg)
LAVA-ROUPA MOZELA	P43	Placa	6,88	Cordierite		3565	2,20	1	6,88	2,20	12,42	7,74
	B14	Barra	0,74	Cordierite		384	0,74	1	0,74	0,74		
	S2	"Pé baixo" do banco	2,40	Cordierite		1244	2,40	2	4,80	4,80		
LAVATÓRIO P/ DEFICIENTES (GRESANIT)	P44	Placa	5,60	Cordierite		2902	2,04	1	5,60	2,04	7,80	4,24
	C29	Calço	1,10	Cordierite		570	1,10	2	2,20	2,20		
LAVATÓRIO ISIS	P45	Placa	2,35	Cordierite		1218	1,00	1	2,35	1,00	13,65	12,30
	C30	Calço	5,65	Cordierite		2927	5,65	2	11,30	11,30		
LAVATÓRIO CAPRI	P36	Placa	3,50	SiC		1136	3,50	1	3,50	3,50	13,58	13,58
	S1	"Pé alto " do banco	3,36	Cordierite		1741	3,36	2	6,72	6,72		
BACIA ASSIMÉTRICA	P20	Placa	6,00	Vitreous		4832	6,00	1	6,00	6,00	6,00	6,00

- **Lista da massa de refractário de cada peça de louça**

Tabela A.6 – Registo da massa de refractário associada a cada peça de louça sanitária, bem como a massa da mobília refractária em carboneto de silício, quando é viável esta mudança, para o forno 4.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
10011	BACIA ESTORIL SIFÓNICA Á PAREDE	10,48	5,79
10013	BACIA ESTORIL SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
10021	BACIA ESTORIL COMPACTA Á PAREDE	10,48	5,79
10023	BACIA ESTORIL COMPACTA AO CHÃO	0,42	0,42
10024	BACIA ESTORIL COMPACTA AO CHÃO 180mm	0,42	0,42
10100	TANQUE ESTORIL	0,00	0,00
10112	TANQUE ESTORIL N.º 2	0,00	0,00
10122	TANQUE ESTORIL N.º 1	0,00	0,00
10162	TANQUE ESTORIL N.º 7	0,00	0,00
10172	TANQUE ESTORIL N.º 1 FT45	0,00	0,00
10182	TANQUE ESTORIL N.º 7 FT45	0,00	0,00
10200	COLUNA ESTORIL	0,00	0,00
10320	LAVATÓRIO ESTORIL 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,28	4,97
10321	LAVATÓRIO ESTORIL 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,28	4,97
10323	LAVATÓRIO ESTORIL 3 FUIROS	10,28	4,97
10340	LAVATÓRIO ESTORIL SUSPENSO 1F 2ESB	10,28	4,97
10341	LAVATÓRIO ESTORIL SUSPENSO 1 FURO	10,28	4,97
10410	BIDÉ ESTORIL 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
10411	BIDÉ ESTORIL 1 FURO	10,48	5,79
10413	BIDÉ ESTORIL 3 FUIROS	10,48	5,79
10990	BACIA ESTORIL COMPACTA AO CHÃO (BANCA)	10,48	5,79
11013	BACIA CONCORDE SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
11021	BACIA CONCORDE COMPACTA Á PAREDE	10,48	5,79
11023	BACIA CONCORDE COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
11033	BACIA CONCORDE AMERICANA	10,48	5,79
11100	TANQUE CONCORDE	0,00	0,00
11172	TANQUE CONCORDE	0,00	0,00
11181	TANQUE CONCORDE N.º 4 FT45	0,00	0,00
11182	TANQUE CONCORDE N.º 7 FT45	0,00	0,00
11200	COLUNA CONCORDE	0,00	0,00
11320	LAVATÓRIO CONCORDE 1 FURO 2 ESBOÇADOS	8,78	4,49
11321	LAVATÓRIO CONCORDE 1 FURO	8,78	4,49
11323	LAVATÓRIO CONCORDE 3 FUIROS	8,78	4,49
11410	BIDÉ CONCORDE 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
11411	BIDÉ CONCORDE 1 FURO	10,48	5,79
11413	BIDÉ CONCORDE 3 FUIROS	10,48	5,79
12011	BACIA EUROPA SIFÓNICA Á PAREDE	10,48	5,79
12013	BACIA EUROPA SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
12021	BACIA EUROPA COMPACTA Á PAREDE	10,48	5,79
12023	BACIA EUROPA COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
12031	BACIA EUROPA SIFÓNICA Á PAREDE (PRATO)	10,48	5,79
12043	BACIA EUROPA SIFÓNICA AO CHÃO (PRATO)	10,48	5,79
12100	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12113	TANQUE EUROPA N.º 9 FT45	0,00	0,00
12122	TANQUE EUROPA ALTO	0,00	0,00
12123	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12124	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12131	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12160	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12161	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12162	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12172	TANQUE EUROPA	0,00	0,00
12181	TANQUE EUROPA N.º 4 FT45	0,00	0,00
12182	TANQUE EUROPA N.º 7 FT45	0,00	0,00
12210	COLUNA EUROPA	0,00	0,00
12220	COLUNA EUROPA SUSPensa	0,00	0,00
12240	COLUNA EUROPA SUSPensa P/ JÚNIOR	0,00	0,00
12310	LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR 1 FURO 2ESB	8,33	4,35
12311	LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR 1 FURO 2ESB	8,33	4,35
12313	LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR 3 FUIROS	8,33	4,35
12314	LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR	8,33	4,35
12319	LAVATÓRIO EUROPA JÚNIOR 2 FUIROS 1CAD	8,33	4,35
12320	LAVATÓRIO EUROPA NORMAL 1 FURO 2ESB	10,28	4,97
12321	LAVATÓRIO EUROPA NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
12323	LAVATÓRIO EUROPA NORMAL 3 FUIROS	10,28	4,97
12326	LAVATÓRIO EUROPA NORMAL	10,28	4,97
12329	LAVATÓRIO EUROPA NORMAL 2 FUIROS 1CAD	10,28	4,97
12330	LAVATÓRIO EUROPA MÉDIO 1 FURO 2ESB	8,78	4,49
12331	LAVATÓRIO EUROPA MÉDIO 1 FURO	8,78	4,49
12333	LAVATÓRIO EUROPA MÉDIO 3 FUIROS	8,78	4,49
12339	LAVATÓRIO EUROPA MÉDIO 2 FUIROS 1CAD	8,78	4,49
12360	LAVA-MÃOS EUROPA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	0,22	0,22
12361	LAVA-MÃOS EUROPA 1 FURO	0,22	0,22
12410	BIDÉ EUROPA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
12411	BIDÉ EUROPA 1 FURO	10,48	5,79
12413	BIDÉ EUROPA 3 FUIROS	10,48	5,79
13001	BACIA OCEANUS SUSPensa	10,48	5,79
13013	BACIA OCEANUS SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
13021	BACIA OCEANUS COMPACTA Á PAREDE	10,48	5,79
13023	BACIA OCEANUS COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
13100	TANQUE OCEANUS	0,00	0,00

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
13102	TANQUE OCEANUS REDONDO	0,00	0,00
13113	TANQUE OCEANUS	0,00	0,00
13181	TANQUE OCEANUS N.º 4 FT45	0,00	0,00
13182	TANQUE OCEANUS N.º 7 FT45	0,00	0,00
13200	COLUNA OCEANUS	0,00	0,00
13220	COLUNA OCEANUS SUSPENSA	0,00	0,00
13310	LAVATÓRIO OCEANUS JÚNIOR 1F 2ESB	8,33	4,35
13311	LAVATÓRIO OCEANUS JÚNIOR 1 FURO	8,33	4,35
13320	LAVATÓRIO OCEANUS NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
13321	LAVATÓRIO OCEANUS NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
13323	LAVATÓRIO OCEANUS NORMAL 3 FUROS	10,28	4,97
13330	LAVATÓRIO OCEANUS MÉDIO 1F 2ESB	8,78	4,49
13331	LAVATÓRIO OCEANUS MÉDIO 1 FURO	8,78	4,49
13400	BIDÉ OCEANUS SUSPENSO 1F 2ESB	10,48	5,79
13401	BIDÉ OCEANUS SUSPENSO 1 FURO	10,48	5,79
13410	BIDÉ OCEANUS 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
13411	BIDÉ OCEANUS 1 FURO	10,48	5,79
14023	BACIA ELEGANCE COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
14100	TANQUE ELEGANCE	0,00	0,00
14181	TANQUE ELEGANCE N.º 4 FT45	0,00	0,00
14182	TANQUE ELEGANCE N.º 7 FT45	0,00	0,00
14200	COLUNA ELEGANCE	0,00	0,00
14320	LAVATÓRIO ELEGANCE NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
14321	LAVATÓRIO ELEGANCE NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
14323	LAVATÓRIO ELEGANCE NORMAL 3 FUROS	10,28	4,97
14410	BIDÉ ELEGANCE 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
14411	BIDÉ ELEGANCE 1 FURO	10,48	5,79
15013	BACIA MONTEROSA SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
15310	LAVATÓRIO MONTEROSA JÚNIOR 1F 2ESB	8,33	4,35
15319	LAVATÓRIO MONTEROSA JÚNIOR 2F 1CAD	8,33	4,35
15320	LAVATÓRIO MONTEROSA NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
15329	LAVATÓRIO MONTEROSA NORMAL 2F 1CAD	10,28	4,97
16011	BACIA NEOCLÁSSICA SIFÓNICA Á PAREDE	10,48	5,79
16014	BACIA NEOCLÁSSICA SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
16021	BACIA NEOCLÁSSICA COMPACTA Á PAREDE	10,48	5,79
16024	BACIA NEOCLÁSSICA COMPACTA AO CHÃO	10,02	6,63
16100	TANQUE NEOCLÁSSICO	0,00	0,00
16113	TANQUE NEOCLÁSSICO N.º 3	0,00	0,00
16123	TANQUE NEOCLÁSSICO	0,00	0,00
16131	TANQUE NEOCLÁSSICO ALTO	0,00	0,00
16132	TANQUE NEOCLÁSSICO ALTO C/ RASGO	0,00	0,00
16161	TANQUE NEOCLÁSSICO N.º 4	0,00	0,00
16163	TANQUE NEOCLÁSSICO N.º 7	0,00	0,00

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
16181	TANQUE NEOCLÁSSICO N.º 4 FT45	0,00	0,00
16200	COLUNA NEOCLÁSSICA	0,00	0,00
16230	COLUNA NEOCLÁSSICA INFANTIL	0,00	0,00
16310	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO JÚNIOR 1F 2ESB	8,78	4,49
16313	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO JÚNIOR 3 FUROS	8,78	4,49
16319	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO JÚNIOR 2F 1CAD	8,78	4,49
16320	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
16321	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
16323	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO NORMAL 3 FUROS	10,28	4,97
16329	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO NORMAL 2F 1CAD	10,28	4,97
16330	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO MÉDIO 1F 2ESB	8,78	4,49
16331	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO MÉDIO 1 FURO	8,78	4,49
16333	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO MÉDIO 3 FUROS	8,78	4,49
16334	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO MÉDIO 2F 1CAD FRT	8,78	4,49
16339	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO MÉDIO 2F 1CAD	8,78	4,49
16350	LAV. NEO. MÉDIO C/ ESPALDAR 1F 2ESB	8,78	4,49
16351	LAV. NEO. MÉDIO C/ ESPALDAR 1 FURO	8,78	4,49
16353	LAV. NEO. MÉDIO C/ ESPALDAR 3 FUROS	8,78	4,49
16359	LAV. NEO. MÉDIO C/ ESPALDAR 2F 1CAD	8,78	4,49
16362	LAVA-MÃOS NEO. C/ ESPALDAR 1F	0,29	0,29
16369	LAVA-MÃOS NEO. C/ ESPALDAR 2F 1CAD	0,29	0,29
16371	LAVATÓRIO NEOCLÁSSICO INFANTIL 1 FURO	0,31	0,31
16410	BIDÉ NEOCLÁSSICO	10,48	5,79
16411	BIDÉ NEOCLÁSSICO 1 FURO	10,48	5,79
16413	BIDÉ NEOCLÁSSICO 3 FUROS	10,48	5,79
17023	BACIA THEMA COMPACTA AO CHÃO	0,42	0,42
17100	TANQUE THEMA	0,00	0,00
17112	TANQUE THEMA	0,00	0,00
17162	TANQUE THEMA	0,00	0,00
17182	TANQUE THEMA N.º 7 FT45	0,00	0,00
17200	COLUNA THEMA	0,00	0,00
17320	LAVATÓRIO THEMA NORMAL 1F 2ESB	9,44	3,14
17321	LAVATÓRIO THEMA NORMAL 1 FURO	9,44	3,14
17323	LAVATÓRIO THEMA NORMAL 3 FUROS	9,44	3,14
17410	BIDÉ THEMA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
17411	BIDÉ THEMA 1 FURO	10,48	5,79
17413	BIDÉ THEMA 3 FUROS	10,48	5,79
18001	BACIA EUROPA SUSPENSA	10,48	5,79
18011	BACIA P/ ISRAEL	10,48	5,79
18041	BACIA "BACK TO WALL"	10,48	5,79
18063	BACIA P/ DEFICIENTES	10,48	5,79
18100	TANQUE MADEIRA	0,00	0,00
18161	TANQUE MADEIRA N.º 4	0,00	0,00

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
18171	TANQUE MADEIRA PLUS N.º 4 FT45	0,00	0,00
18172	TANQUE MADEIRA PLUS N.º 7 FT45	0,00	0,00
18181	TANQUE MADEIRA N.º 4 FT45	0,00	0,00
18182	TANQUE MADEIRA N.º 7 FT45	0,00	0,00
18200	COLUNA MADEIRA	0,00	0,00
18210	COLUNA	0,00	0,00
18220	COLUNA EUROPA SUSPENSA	0,00	0,00
18301	LAVATÓRIO TOP 1 FURO	8,78	4,49
18306	LAVATÓRIO TOP 3 FUIROS 4 POLEGADAS	8,78	4,49
18307	LAVATÓRIO DE CANTO S/ FUIROS	12,28	12,28
18311	LAVATÓRIO MADEIRA 1 FURO	8,33	4,35
18313	LAVATÓRIO MADEIRA 3 FUIROS	8,33	4,35
18316	LAVATÓRIO MADEIRA 3 FUIROS 4 POLEGADAS	8,33	4,35
18320	LAVATÓRIO MONTE CARLO 1F 2ESB	16,38	16,38
18321	LAVATÓRIO MONTE CARLO 1 FURO	16,38	16,38
18323	LAVATÓRIO MONTE CARLO 3 FUIROS	16,38	16,38
18326	LAVATÓRIO ELIPSE	0,00	0,00
18327	LAVATÓRIO OVAL	0,00	0,00
18328	LAVATÓRIO OVAL v2 (vidrado dos 2 lados)	0,00	0,00
18340	LAVATÓRIO TORINO	10,28	4,97
18341	LAVATÓRIO TORINO 1 FURO	10,28	4,97
18347	LAVATÓRIO BROADWAY	0,00	0,00
18350	LAVATÓRIO BRAVA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	11,41	11,41
18351	LAVATÓRIO BRAVA 1 FURO	11,41	11,41
18352	LAVATÓRIO BRAVA 1 FURO v2 (vidrado dos 2 lados)	11,41	11,41
18357	LAVATÓRIO DOURO	0,00	0,00
18360	LAVATÓRIO MIRAMAR 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,71	10,71
18361	LAVATÓRIO MIRAMAR 1 FURO	10,71	10,71
18370	LAVATÓRIO CAPRI 1 FURO 2 ESBOÇADOS	13,58	13,58
18371	LAVATÓRIO CAPRI 1 FURO	13,58	13,58
18380	LAVATÓRIO NICE	0,00	0,00
18381	LAVATÓRIO NICE 1 FURO	0,00	0,00
18386	LAVATÓRIO MÓNACO	9,71	9,71
18387	LAVATÓRIO MÓNACO v2 (vidrado dos 2 lados)	9,71	9,71
18390	LAVATÓRIO NILO 1 FURO 2 ESBOÇADOS	1,78	1,78
18391	LAVATÓRIO NILO 1 FURO	1,78	1,78
18399	LAVATÓRIO NILO 2 FUIROS 1 CADEADO	1,78	1,78
18400	BIDÉ EUROPA SUSPENSO	10,48	5,79
18401	BIDÉ EUROPA SUSPENSO 1 FURO	10,48	5,79
18510	URINOL FLÓRIDA	19,40	6,87
18511	URINOL FLÓRIDA ENT. TRÁS	19,40	6,87
18520	URINOL NIAGARA	47,24	20,69
18521	URINOL NIAGARA ENT. TRÁS	47,24	20,69

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
18530	URINOL FACE N.º 1	0,00	0,00
18540	URINOL FACE N.º 2	0,00	0,00
18541	URINOL FACE N.º 2 ENT. TRÁS	0,00	0,00
18550	URINOL DE CANTO	0,00	0,00
18611	PIA RECTANGULAR ÉVORA (N.º 1)	0,00	0,00
18612	PIA RECTANGULAR ÓBIDOS	0,00	0,00
18613	PIA HOSPITALAR	0,44	0,44
18614	PIA DE DESPEJO	0,00	0,00
18615	PIA RECTANGULAR SINTRA	0,00	0,00
18617	PILETA DE DESCARGA 150 x 150 mm	0,00	0,00
18630	BASE DE CHUVEIRO 70 x 70	0,00	0,00
18637	BASE DE CHUVEIRO 80 x 80 DE CANTO	0,00	0,00
18638	BASE DE CHUVEIRO 80 x 80	0,00	0,00
18640	PIA TURCA	26,54	9,95
18650	BACIA INFANTIL	0,24	0,24
18701	LAVATÓRIO MIAMI 1 FURO	12,80	9,23
18711	LAVATÓRIO RIO	9,42	9,42
18717	LAVATÓRIO BOSTON	3,72	2,29
18721	LAVATÓRIO FUNCHAL 1 FURO	11,41	11,41
18740	LAVATÓRIO TOP PLUS 1 FURO 2 ESBOÇADOS	8,78	4,49
18741	LAVATÓRIO TOP PLUS 1 FURO	8,78	4,49
18750	LAVATÓRIO ROMA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	8,33	4,35
18751	LAVATÓRIO ROMA 1 FURO	8,33	4,35
18757	LAVATÓRIO DANÚBIO	0,00	0,00
18767	LAVATÓRIO MISSOURI	0,00	0,00
18770	LAVATÓRIO ATLANTA 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,00	4,32
18771	LAVATÓRIO ATLANTA 1 FURO	10,00	4,32
18777	LAVATÓRIO TANGER	0,00	0,00
18778	LAVATÓRIO TANGER v2 (vidrado dos dois lados)	0,00	0,00
18781	LAVATÓRIO BÚZIOS 1 FURO	10,65	6,12
18801	LAVATÓRIO CEUTA 1 FURO	12,28	12,28
18841	LAVATÓRIO OÁSIS 1 FURO TORNEIRA AO CENTRO	11,41	11,41
18842	LAVATÓRIO OÁSIS 1 FURO TORNEIRA À ESQUERDA	11,41	11,41
18843	LAVATÓRIO OÁSIS 1 FURO TORNEIRA À DIREITA	11,41	11,41
18851	LAVA-MÃOS RECTANGULAR EROS 1 FURO	4,39	2,25
18862	LAVA-MÃOS VÊNUS 1 FURO TORNEIRA À ESQUERDA	12,75	9,41
18863	LAVA-MÃOS VÊNUS 1 FURO TORNEIRA À DIREITA	12,75	9,41
18871	LAVATÓRIO URÂNIO 1 FURO	14,87	9,49
18922	COBRE-JUNTA RECTO	0,00	0,00
18923	COBRE-JUNTA CURVO	1,00	1,00
18930	TERRAÇO P/ URINOL	0,00	0,00
19013	BACIA IMAGE SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
19021	BACIA IMAGE COMPACTA À PAREDE	10,48	5,79

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
19023	BACIA IMAGE COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
19100	TANQUE IMAGE	0,00	0,00
19177	TANQUE IMAGE N.º 8	0,00	0,00
19178	TANQUE IMAGE N.º 0	0,00	0,00
19179	TANQUE IMAGE N.º 4	0,00	0,00
19180	TANQUE IMAGE N.º 7	0,00	0,00
19181	TANQUE IMAGE N.º 4 FT45	0,00	0,00
19182	TANQUE IMAGE N.º 7 FT45	0,00	0,00
19186	TANQUE IMAGE N.º 7 P/ SINGAPURA	0,00	0,00
19200	COLUNA IMAGE	0,00	0,00
19220	COLUNA IMAGE SUSPENSA	0,00	0,00
19310	LAVATÓRIO IMAGE JÚNIOR 1F 2ESB	8,33	4,35
19311	LAVATÓRIO IMAGE JÚNIOR 1 FURO	8,33	4,35
19320	LAVATÓRIO IMAGE NORMAL 1F 2ESB	8,78	4,49
19321	LAVATÓRIO IMAGE NORMAL 1 FURO	8,78	4,49
19323	LAVATÓRIO IMAGE NORMAL 3 FUIROS	8,78	4,49
19329	LAVATÓRIO IMAGE NORMAL 2F 1CAD	8,78	4,49
19410	BIDÉ IMAGE 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
19411	BIDÉ IMAGE 1 FURO	10,48	5,79
19413	BIDÉ IMAGE 3 FUIROS	10,48	5,79
30001	BACIA OPORTO SUSPENSA	0,42	0,42
30051	BACIA OPORTO COMPACTA AO CHÃO/PAREDE	10,48	5,79
30100	TANQUE OPORTO	0,00	0,00
30182	TANQUE OPORTO N.º 7 FT45	0,00	0,00
30200	COLUNA OPORTO	0,00	0,00
30220	COLUNA OPORTO SUSPENSA	0,00	0,00
30320	LAVATÓRIO OPORTO NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
30321	LAVATÓRIO OPORTO NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
30323	LAVATÓRIO OPORTO NORMAL 3 FURO	10,28	4,97
30330	LAVATÓRIO OPORTO MÉDIO 1F 2ESB	8,78	4,49
30331	LAVATÓRIO OPORTO MÉDIO 1 FURO	8,78	4,49
30400	BIDÉ OPORTO SUSPENSO 1F 2ESB	10,48	5,79
30401	BIDÉ OPORTO SUSPENSO 1 FURO	10,48	5,79
30410	BIDÉ OPORTO 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
30411	BIDÉ OPORTO 1 FURO	10,48	5,79
31051	BACIA TAGUS COMPACTA AO CHÃO/PAREDE	0,42	0,42
31100	TANQUE TAGUS	16,34	12,28
31182	TANQUE TAGUS N.º 7 FT45	16,34	12,28
31200	COLUNA TAGUS	0,00	0,00
31330	LAVATÓRIO TAGUS NORMAL 1F 2ESB	10,28	4,97
31331	LAVATÓRIO TAGUS NORMAL 1 FURO	10,28	4,97
31410	BIDÉ TAGUS 1 FURO 2 ESBOÇADOS	10,48	5,79
31411	BIDÉ TAGUS 1 FURO	10,48	5,79

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
32051	BACIA ASSIMÉTRICA COMP.CHÃO/PAREDE	6,00	6,00
32100	TANQUE ASSIMÉTRICO	23,05	13,25
32162	TANQUE ASSIMÉTRICO N.º 7	23,05	13,25
32220	COLUNA ASSIMÉTRICA SUSPensa	2,25	2,25
32330	LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO MÉDIO	18,45	14,71
32331	LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO MÉDIO 1 FURO	18,45	14,71
32350	LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO DE POUSAR	12,53	6,88
32351	LAVATÓRIO ASSIMÉTRICO DE POUSAR 1 FURO	12,53	6,88
32410	BIDÉ ASSIMÉTRICO	2,96	2,96
32411	BIDÉ ASSIMÉTRICO 1 FURO	2,96	2,96
33013	BACIA EUROPA PLUS SIFÓNICA AO CHÃO	10,48	5,79
33021	BACIA EUROPA PLUS COMPACTA À PAREDE	10,48	5,79
33023	BACIA EUROPA PLUS COMPACTA AO CHÃO	10,48	5,79
33100	TANQUE EUROPA PLUS	0,00	0,00
33131	TANQUE EUROPA PLUS ALTO	0,00	0,00
33181	TANQUE EUROPA PLUS N.º 4 FT45	0,00	0,00
33182	TANQUE EUROPA PLUS N.º 7 FT45	0,00	0,00
33410	BIDÉ EUROPA PLUS	10,48	5,79
33411	BIDÉ EUROPA PLUS 1 FURO	10,48	5,79
33413	BIDÉ EUROPA PLUS 3 FUIROS	10,48	5,79
34001	BACIA NAUTILUS SUSPensa	10,48	5,79
34051	BACIA NAUTILUS COMP.CHÃO/PAREDE	10,48	5,79
34100	TANQUE NAUTILUS	24,26	14,46
34182	TANQUE NAUTILUS N.º 7 FT45	24,26	14,46
34200	COLUNA NAUTILUS	0,00	0,00
34220	COLUNA NAUTILUS SUSPensa	0,00	0,00
34330	LAVATÓRIO NAUTILUS MÉDIO	12,59	12,59
34331	LAVATÓRIO NAUTILUS MÉDIO 1 FURO	12,59	12,59
34350	LAVATÓRIO NAUTILUS DE POUSAR	10,23	10,23
34351	LAVATÓRIO NAUTILUS DE POUSAR 1 FURO	10,23	10,23
34400	BIDÉ NAUTILUS SUSPENSO	10,48	5,79
34401	BIDÉ NAUTILUS SUSPENSO 1 FURO	10,48	5,79
34410	BIDÉ NAUTILUS	10,48	5,79
34411	BIDÉ NAUTILUS 1 FURO	10,48	5,79
35001	BACIA NANTES SUSPensa	10,48	5,79
35041	BACIA NANTES "BACK TO WALL"	10,48	5,79
35051	BACIA NANTES COMP.CHÃO/PAREDE	10,48	5,79
35100	TANQUE NANTES	0,00	0,00
35182	TANQUE NANTES N.º 7 FT45	0,00	0,00
35200	COLUNA NANTES	0,00	0,00
35220	COLUNA NANTES SUSPensa	0,00	0,00
35310	LAVATÓRIO NANTES JÚNIOR	6,99	2,74
35311	LAVATÓRIO NANTES JÚNIOR 1 FURO	6,99	2,74

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
35320	LAVATÓRIO NANTES NORMAL	23,73	14,03
35321	LAVATÓRIO NANTES NORMAL 1 FURO	23,73	14,03
35330	LAVATÓRIO NANTES MÉDIO	23,81	14,11
35331	LAVATÓRIO NANTES MÉDIO 1 FURO	23,81	14,11
35360	LAVATÓRIO LENA (TIPO BRAVA)	11,41	11,41
35361	LAVATÓRIO LENA (TIPO BRAVA) 1 FURO	11,41	11,41
35400	BIDÉ NANTES SUSPENSO	10,48	5,79
35401	BIDÉ NANTES SUSPENSO 1 FURO	10,48	5,79
35410	BIDÉ NANTES	10,48	5,79
35411	BIDÉ NANTES 1 FURO	10,48	5,79
35414	BIDÉ NANTES 1 FURO + 2 FIX. TAMPO	10,48	5,79
36001	BACIA LIGHT SUSPENSA	0,00	0,00
36330	LAVATÓRIO LIGHT MÉDIO	37,25	20,57
36331	LAVATÓRIO LIGHT MÉDIO 1 FURO	37,25	20,57
36400	BIDÉ LIGHT SUSPENSO	0,00	0,00
36401	BIDÉ LIGHT SUSPENSO 1 FURO	0,00	0,00
37051	BACIA OPUS COMP.CHÃO/PAREDE	10,48	5,79
37100	TANQUE OPUS	0,00	0,00
37182	TANQUE OPUS N.º 7 FT45	0,00	0,00
37310	LAVATÓRIO OPUS JÚNIOR	22,10	14,02
37311	LAVATÓRIO OPUS JÚNIOR 1 FURO	22,10	14,02
37410	BIDÉ OPUS	10,48	5,79
37411	BIDÉ OPUS 1 FURO	10,48	5,79
70374	PLACA SMALL TOP 610 x 510 mm	0,00	0,00
70384	PLACA LARGE TOP 1170 x 510 mm	0,00	0,00
70390	PLACA DE REVESTIMENTO 750 x 500 mm	0,00	0,00
78615	PIA RECTANGULAR SINTRA	0,00	0,00
78616	PIA RECTANGULAR SILVES (C/ ABA)	0,00	0,00
78631	BASE DE CHUVEIRO 70 x 90 DANILO	0,00	0,00
78632	BASE DE CHUVEIRO 70 x 90 LUSA	0,00	0,00
78633	BASE DE CHUVEIRO 70 x 100 ARIS	0,00	0,00
78634	BASE DE CHUVEIRO 70 x 120 ARIS	0,00	0,00
78635	BASE DE CHUVEIRO 80 x 100 PÁDUA	0,00	0,00
78636	BASE DE CHUVEIRO 80 x 120 PÁDUA	0,00	0,00
78639	BASE DE CHUVEIRO 90 x 90 AQUA	0,00	0,00
78660	LAVA-ROUPA MOZELA	12,42	7,74
78707	LAVATÓRIO GOA (GRESANIT)	9,71	9,71
78711	LAVATÓRIO RIO 1 FURO (GRESANIT)	9,42	9,42
78717	LAVATÓRIO BOSTON (GRESANIT)	3,72	2,29
78727	LAVATÓRIO TUNIS (GRESANIT)	9,71	9,71
78747	LAVATÓRIO PALENA (GRESANIT)	0,00	0,00
78761	LAVATÓRIO RECIFE PLUS 1 FURO (GRESANIT)	8,33	4,35
78791	LAVATÓRIO P/ DEFICIENTES 1 FURO (GRESANIT)	7,80	4,24

Tabela A.6 – Continuação

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	m ref.act. (kg)	m ref. alter. (kg)
78811	LAVATÓRIO ISIS 1 FURO (GRES.) S/ FIX.PAR.	13,65 kg	12,30 kg
78812	LAVATÓRIO ISIS 1 FURO (GRES.) C/ FIX.PAR.ESQ.	13,65 kg	12,30 kg
78813	LAVATÓRIO ISIS 1 FURO (GRES.) C/ FIX.PAR.DIR.	13,65 kg	12,30 kg
78821	LAVATÓRIO GALLERY (DIREITO) 1 FURO (GRES.)	10,28 kg	4,97 kg
78831	LAVATÓRIO GALLERY (ESQUERDO) 1 FURO (GRES.)	10,28 kg	4,97 kg

Para o forno 3i, os valores da massa de mobília refractária para cada peça são os mesmos, a única diferença é a massa da mobília refractária correspondente às bacias e aos bidés. Uma vez que o banco de bacia/bidé, no caso do forno 3i, pesa 1,41 kg em vez de 10,48 kg, isto quando a placa que constitui o banco é feita de cordierite. Já quando esta placa é feita de carboneto de silício, a massa é de 1,04 kg em vez dos 5,79 kg do forno 4.

- **Dados sobre a combustão**

Tabela A.7 – Registo dos valores da combustão estequiométrica do gás natural.

	Ar Estequiométrico			Gases Secos			Humidade		
	O ₂ Nec.	N ₂ Nec.	Ar Nec.	CO ₂ prod	SO ₂ prod	N ₂ Gases	H ₂ O	Gases Secos Gs	Gases Totais Gt
Elemento	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)	(kg/kg Comb)
CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,0050	-	0,00	-	2,49	2,49
CO	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	-	-
H ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-
CH ₄	2,84	9,41	12,26	1,96	-	9,41	1,60	-	-
C ₂ H ₆	0,45	1,50	1,95	0,36	-	1,50	0,22	-	-
C ₃ H ₈	0,16	0,54	0,70	0,14	-	0,54	0,070	-	-
C ₄ H ₁₀	0,04	0,15	0,19	0,037	-	0,15	0,020	-	-
C ₄ H ₁₀	0,03	0,11	0,14	0,028	-	0,11	0,010	-	-
C ₅ H ₁₂	0,01	0,040	0,050	0,011	-	0,040	0,010	-	-
C ₅ H ₁₂	0,01	0,040	0,050	0,0090	-	0,040	0,00	-	-
C ₆ H ₁₄	0,01	0,040	0,060	0,011	-	0,040	0,010	-	-
C ₇ H ₁₆	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-
C ₈ H ₁₈	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-
C ₉ H ₂₀	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-
C ₁₀ H ₂₂	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	-
S	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
O ₂	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-
N ₂	-	-	-	-	-	0,080	0,12	11,91	11,91
H ₂ O	-	-	-	-	-	-	0,00	-	2,06
TOTAL	3,57	11,82	15,40	2,49	0,00	11,91	2,06	14,40	16,46

O combustível utilizado para a cozedura nos fornos é o gás natural, este tem a composição descrita na tabela seguinte:

Tabela A.8 – Dados sobre a composição do gás natural.

GÁS NATURAL		Massa molecular	P (m ³ /Kg)	% Volumétrica	Fracção Mássica
Dióxido de Carbono	CO ₂	44,01	-	0,2%	0,0054
Monóxido Carbono	CO	28,01	0,80	-	0,00
Hidrogénio	H ₂	2,02	11,12	-	0,00
Metano	CH ₄	16,05	1,39	83,7%	0,71
Etano	C ₂ H ₆	30,07	0,74	7,6%	0,12
Propano	C ₃ H ₈	44,10	0,50	1,9%	0,045
n Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	0,37	0,4%	0,012
i Butano	C ₄ H ₁₀	58,12	-	0,3%	0,0093
n Pentano	C ₅ H ₁₂	72,00	-	0,1%	0,0034
i Pentano	C ₅ H ₁₂	72,00	-	0,1%	0,0031
n Hexano	C ₆ H ₁₄	86,00	-	0,1%	0,0037
n Heptano	C ₇ H ₁₆	100,00	-	-	0,00
n Octano	C ₈ H ₁₈	114,00	-	-	0,00
n Nonano	C ₉ H ₂₀	128,00	-	-	0,00
n Decano	C ₁₀ H ₂₂	142,00	-	-	0,00
Oxigénio	O ₂	32,00	0,67	-	0,00
Azoto	N ₂	28,16	0,80	5,6%	0,084
Água	H ₂ O	18,02	1,24	0,0%	0,00

Tabela A.9 – Composição em massa e volume dos gases húmidos, para cada valor de excesso de ar.

Composição de Gases Combustão (húmidos)										
Excesso de Ar	%CO ₂ Kg/Kg	%SO ₂ Kg/Kg	%N ₂ Kg/Kg	%O ₂ Kg/Kg	%H ₂ O Kg/Kg	%CO ₂ m ³ /m ³	%SO ₂ m ³ /m ³	%N ₂ m ³ /m ³	%O ₂ m ³ /m ³	%H ₂ O m ³ /m ³
1	0,15	0,00	0,72	0,00	0,13	0,090	0,00	0,73	0,00	0,18
1,05	0,14	0,00	0,73	0,010	0,12	0,090	0,00	0,73	0,010	0,17
1,1	0,14	0,00	0,73	0,020	0,12	0,090	0,00	0,73	0,020	0,16
1,15	0,13	0,00	0,73	0,030	0,11	0,080	0,00	0,74	0,030	0,16
1,2	0,13	0,00	0,73	0,040	0,11	0,080	0,00	0,74	0,040	0,15
1,25	0,12	0,00	0,73	0,040	0,10	0,080	0,00	0,74	0,040	0,14
1,8	0,090	0,00	0,74	0,10	0,070	0,060	0,00	0,75	0,10	0,10
2	0,080	0,00	0,74	0,11	0,070	0,050	0,00	0,76	0,11	0,090
2,25	0,070	0,00	0,74	0,12	0,060	0,040	0,00	0,76	0,12	0,080
3,5	0,050	0,00	0,75	0,16	0,040	0,030	0,00	0,77	0,16	0,060
5	0,030	0,00	0,75	0,18	0,030	0,020	0,00	0,77	0,18	0,040
7	0,020	0,00	0,76	0,20	0,030	0,020	0,00	0,78	0,20	0,030
18	0,010	0,00	0,76	0,22	0,010	0,010	0,00	0,78	0,22	0,010

- **Caudais de ar que entram e saem do forno 4**

Tabela A.10 – Valores calculados do caudal volumétrico e mássico de gás nos seis grupos de queima e o caudal de ar estequiométrico e real a entrar no forno 4.

	Caudal volumétrico gás (Nm³/h)	Caudal mássico gás (kg/h)	Caudal ar estequiométrico (kg/h)	Caudal mássico real de ar (10%excesso) (kg/h)
Grupo 1	0	0	0	0
Grupo 2	22,23	18,90	291	320
Grupo 3	10,68	9,08	140	154
Grupo 4	11,35	9,65	149	163
Grupo 5	26,83	22,82	351	386
Grupo 6	24,02	20,43	315	346
Total	95,10	80,88	1245	1370

- **Perdas de calor pela superfície das paredes do forno**

Tabela A.11 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o caudal térmico perdido para a parede do lado direito e esquerdo do forno 4.

Comprimento Forno 4 (m)	Parede direita			Parede esquerda		
	Coeficiente global radiação (kJ/(hm ² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm ² °C))	Caudal térmico perdas (kJ/h)	Coeficiente global radiação (kJ/(hm ² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm ² °C))	Caudal térmico perdas (kJ/h)
0	-	-	-	-	-	-
3	12,51	6,93	326	12,63	7,79	547
6	12,57	7,41	438	12,75	8,44	786
9	12,82	8,75	923	13,07	9,64	1433
12	12,93	9,16	1136	13,33	10,37	1995
15	13,24	10,12	179	13,47	10,70	2310
18	13,57	10,90	2517	13,57	10,90	2517
21	13,73	11,22	2884	14,16	11,95	3880
24	13,97	11,65	3448	14,40	12,30	4452
27	13,68	11,13	2774	13,59	10,95	2571
30	13,34	10,40	2025	13,19	10,00	1689
33	13,37	10,47	2092	13,25	10,15	1812
36	13,48	10,71	2325	13,39	10,51	2129
39	13,51	10,79	2402	13,43	10,61	2219
42	13,41	10,55	2167	13,35	10,41	2032
45	13,24	10,12	1790	13,34	10,39	2018
48	13,09	9,70	1468	13,26	10,19	1848
51	12,92	9,14	1123	13,10	9,74	1496
54	12,85	8,87	982	12,99	9,37	1259
57	13,05	9,59	1398	13,14	9,85	1581
60	13,09	9,70	1468	13,28	10,25	1892
63	12,98	9,35	1246	13,17	9,94	1646
66	12,92	9,15	1130	12,99	9,40	1273
69	12,70	8,17	678	12,83	8,79	943
72	12,58	7,43	444	12,80	8,65	877
75	12,54	7,19	385	12,73	8,32	735
78	12,52	7,04	350	12,62	7,71	523
	Média		1527	Média		1787

* Estas perdas dizem respeito a uma área de 5,42m².

Tabela A.12 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o caudal térmico perdido no tecto do forno 4.

Comprimento Forno 4 (m)	Área tecto (m ²)	Coeficiente global radiação (kJ/(hm ² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm ² °C))	\dot{Q}_{tecto} (kJ/h)
0	-	-	-	-
7,5	15,75	13,19	11,72	5277
15	15,75	13,87	13,46	10073
22,5	15,75	15,04	15,34	18900
30	15,75	16,16	16,59	27852
37,5	15,75	17,39	17,64	38066
45	15,75	17,64	17,83	40224
52,5	15,75	15,61	16,02	23416
60	15,75	14,38	14,38	13814
67,5	15,75	13,81	13,33	9617
75	15,75	12,89	10,60	3330
Média				19057

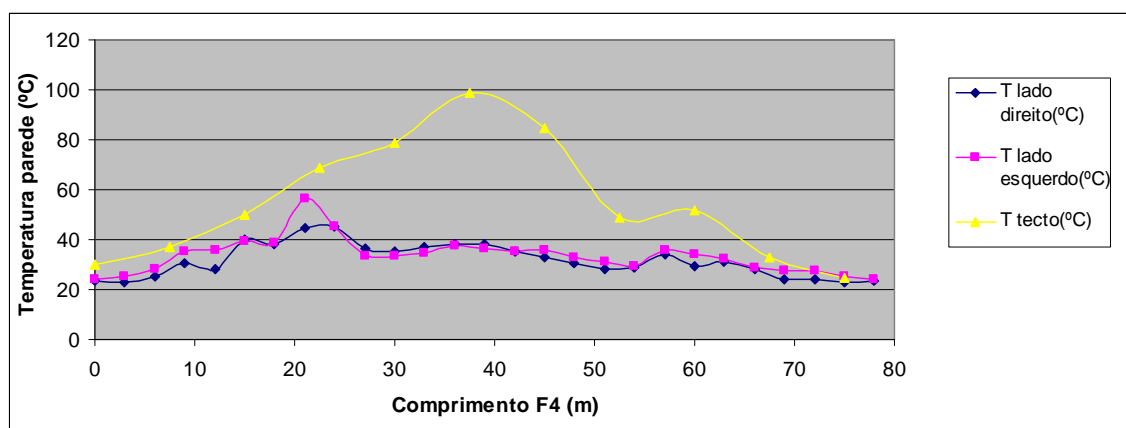


Figura A.1 – Evolução da temperatura das paredes do lado direito, esquerdo e do tecto, ao longo do comprimento do forno 4.

Tabela A.13 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 200°C.

		Área (m²)	Coeficiente global radiação (kJ/(hm² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	14,18	11,98	6268	22087	26946
	T2						
	T3	10,28	14,64	12,62	9565		
	T4						
	T5	8,63	14,18	11,98	6254		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	14,11	11,87	5994	19844	24210
	T8						
	T9	10,28	14,55	12,50	9136		
	T10						
	T11	8,63	13,76	11,28	4714		
	T12						
Tecto	T13	8,63	13,67	13,01	4706	14690	17922
	T14						
	T15	10,28	13,66	13,00	5574		
	T16						
	T17	8,63	13,59	12,84	4410		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Total calor perdido (kJ)
						1,22	69078

Tabela A.14 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 400°C.

		Área (m ²)	Coeficiente global Radiação (kJ/(hm ² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm ² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	14,83	12,85	8753		
	T2						
	T3	10,28	15,23	13,29	12305	29123	84166
	T4						
	T5	8,63	14,65	12,63	8065		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	14,11	11,88	6007		
	T8						
	T9	10,28	15,00	13,05	11247	23261	67224
	T10						
	T11	8,63	14,11	11,88	6007		
	T12						
Tecto	T13	8,63	13,44	12,45	3817		
	T14						
	T15	10,28	13,46	12,51	4656	12950	37426
	T16						
	T17	8,63	13,61	12,88	4477		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Calor perdido
						2,89	total (kJ)
							188816

Tabela A.15 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 600°C.

		Área (m²)	Coeficiente global Radiação (kJ/(hm² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	15,16	13,22	10073		
	T2						
	T3	10,28	14,69	12,68	9785	27130	132666
	T4						
	T5	8,63	14,44	12,36	7271		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	14,19	12,00	6315		
	T8						
	T9	10,28	15,53	13,59	13748	26169	127967
	T10						
	T11	8,63	14,14	11,92	6107		
	T12						
Tecto	T13	8,63	13,61	12,89	4504		
	T14						
	T15	10,28	13,66	13,01	5590	15250	74572
	T16						
	T17	8,63	13,78	13,27	5156		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Calor perdido
						4,89	total (kJ)
							335205

Tabela A.16 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 800°C.

		Área (m²)	Coeficiente global Radiação (kJ/(hm² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	15,71	13,76	12261	31999	202552
	T2						
	T3	10,28	15,03	13,08	11388		
	T4						
	T5	8,63	14,72	12,72	8350		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	14,29	12,14	6680	30555	193412
	T8						
	T9	10,28	16,14	14,14	16728		
	T10						
	T11	8,63	14,41	12,32	7147		
	T12						
Tecto	T13	8,63	14,16	14,01	6683	21091	133505
	T14						
	T15	10,28	14,12	13,94	7754		
	T16						
	T17	8,63	14,15	14,00	6654		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Calor perdido
						6,33	total (kJ)
							529469

Tabela A.17 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 1000°C.

		Área (m ²)	Coeficiente global Radiação (kJ/(hm ² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm ² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	15,91	13,94	13099		
	T2						
	T3	10,28	15,33	13,39	12784	34847	274944
	T4						
	T5	8,63	14,88	12,91	8964		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	14,48	12,41	7403		
	T8						
	T9	10,28	16,32	14,28	17605	33337	263030
	T10						
	T11	8,63	14,72	12,71	8328		
	T12						
Tecto	T13	8,63	14,94	15,21	9919		
	T14						
	T15	10,28	14,50	14,58	9638	28028	221143
	T16						
	T17	8,63	14,59	14,72	8471		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Calor perdido
						7,89	total (kJ)
							759117

Tabela A.18 – Valores calculados do coeficiente global de transferência de calor por convecção e radiação, bem como o fluxo e as perdas de calor em cada uma das superfícies do forno, para uma temperatura interna do forno 3i de 1200°C.

		Área (m²)	Coeficiente global Radiação (kJ/(hm² °C))	Coeficiente global convecção (kJ/(hm² °C))	Fluxo de calor (kJ/h)	Somatório fluxo de calor (kJ/h)	Calor perdido (kJ)
Direito norte	T1	8,63	16,33	14,29	14845	45206	466977
	T2						
	T3	10,28	16,46	14,39	18305		
	T4						
	T5	8,63	15,65	13,71	12056		
	T6						
Esquerdo norte	T7	8,63	15,18	13,24	10141	41917	433006
	T8						
	T9	10,28	17,03	14,80	21152		
	T10						
	T11	8,63	15,30	13,37	10625		
	T12						
Tecto	T13	8,63	16,03	16,47	14704	49719	513596
	T14						
	T15	10,28	16,51	16,92	20081		
	T16						
	T17	8,63	16,09	16,52	14933		
	T18						
						Tempo ciclo (h)	Calor perdido
						10,33	total (kJ)
							1413579

Tabela A.19 – Registro do calor perdido pelas três superfícies do forno 3i.

	Perdas calor (kJ)
Lado direito norte	1188251
Lado esquerdo norte	1108849
Tecto	998164
TOTAL	3295263

- **Estudo económico da troca de refractário**

Tabela A.20 – Lista do material refractário a utilizar para a substituição na “móbilta refractária”.

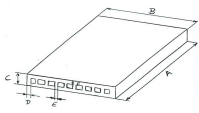
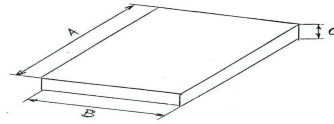
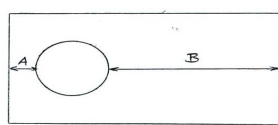
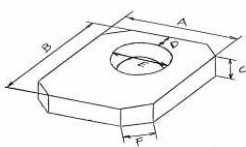
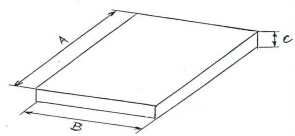
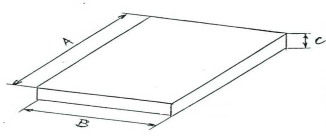
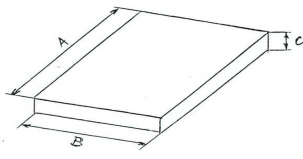
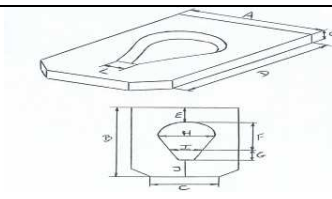
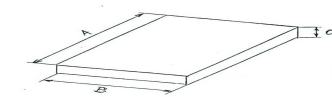
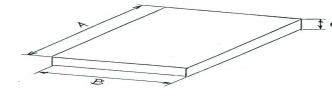
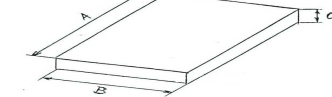
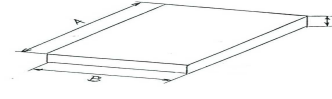
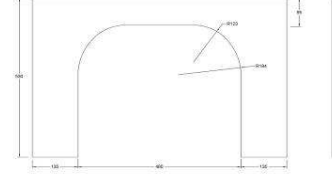
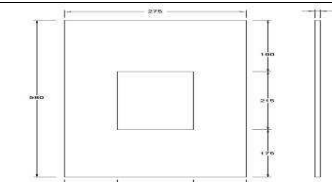
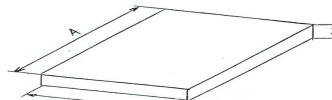
Placa	Composição	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Quantidade	Desenho
A	Cordierite	740	415	40	120	
B	SiC	580	275	8	500	
C	SiC	580	275	8	100	 <div> Legenda: A- 9mm B- 350mm </div>
D	SiC	280	280	8	100	 <div> Legenda: D-30mm E-140mm </div>
E	SiC	540	425	8	100	
F	SiC	455	315	8	300	
G	SiC	1200	525	8	10	

Tabela A.20 – Continuação

Placa	Composição	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Quantidade	Desenho
H	SiC	557	414		200	 <p>Legenda: C-270mm F-238mm I-130mm D-490mm G-75mm J-135mm E-108mm H-250mm L-62mm</p>
I	SiC	850	180	8	150	
J	SiC	850	520	8	50	
K	SiC	530	180	8	250	
L	SiC	700	180	8	150	
M	SiC	750	520	8	20	
N	SiC	580	275	8	50	
O	SiC	1000	400	8	300	

Anexo B - Exemplos de cálculo:

- Cálculo do caudal volumétrico de ar e gás (arrefecimento normal e brusco, ar de tecto, ar de contravec e gás natural) debitado pelos ventiladores do forno 4:

O exemplo seguinte foi feito para o ventilador de arrefecimento normal.

$$\begin{aligned}\dot{V} &= c(Nm^3 / (h(mmca)^{1/2})) \times \sqrt{\Delta P(mmca)} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \dot{V} &= 1054,30 \times \sqrt{0,96} = 1033 Nm^3 / h = 1095 m^3 / h\end{aligned}\quad (5)$$

- Cálculo do caudal mássico de ar/gás debitado pelos ventiladores:

Para o mesmo caso do exemplo anterior:

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}(m^3 / h) \times P(atm) \times M(ar)(kg / kmol)}{T(K) \times R(m^3 .atm / K.kmol)} = \frac{1095 \times 1,03 \times 28,9}{298 \times 0,082} = 1257 kg / h \quad (31)$$

- Normalização do volume de gás consumido:

Este exemplo está feito para o forno 3i, para um volume de gás de 476,1 m³ e uma pressão média absoluta a montante dos queimadores de 3,7 atm.

Supondo que a Temperatura do gás é de 25 °C (298 K) e que os valores de referência são uma temperatura de 0 °C (273 K) e uma pressão de 1 atm.

$$\begin{aligned}\frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \Leftrightarrow V_{norm} = \frac{P_{mont}(atm) \times V_{gcons}(dm^3) \times T_r(K)}{T_{gn}(K) \times P_{ref}(atm)} \Leftrightarrow \\ V_{norm} &= \frac{3,7 \times 476,1 \times 10^3 \times 273}{298 \times 1} = 1,614 \times 10^6 Ndm^3 / 1000 = 1614 Nm^3\end{aligned}\quad (32)$$

- Percentagem de perda de massa ao fogo:

Para determinar este valor, foram escolhidas algumas peças para pesar antes e após a cozedura. Isto para depois fazer o cálculo da percentagem média de perda de

massa ao fogo. Por exemplo para o Lavatório Recife, que tem uma massa em cru de 12,84 kg e em cozido de 12,00 kg, a percentagem de massa ao fogo é dada por:

$$\%pmf = \left(\frac{mpcrua(kg) - mpcozida(kg)}{mpcrua(kg)} \right) \times 100 = \left(\frac{12,84 - 12,00}{12,84} \right) \times 100 = 7\% \quad (33)$$

- Energia de queima:

Este exemplo refere-se ao forno 3i, para o volume normalizado calculado anteriormente.

$$EQ = PCI(MJ / Nm^3) \times V_{norm}(Nm^3) = 37,995 \times 1614 = 61316MJ \quad (1)$$

- Consumo específico de energia do forno:

Este cálculo foi também feito para um ciclo de cozedura do forno 3i, para uma carga de louça de 6659 kg.

$$Cons_{esp}(F3i) = \frac{EQ(MJ)}{m_{loue}(kg)} = \frac{61316}{6659} = 9,208MJ / kg = 9208kJ / kg \quad (2)$$

É de notar que os valores do consumo específico e da energia de queima apresentados anteriormente são resultantes de uma das medições do consumo de gás natural que foram realizadas, sendo que posteriormente foi determinado um valor médio resultante de todos os valores calculados.

- Cálculo da energia eléctrica absorvida pelo forno:

Este exemplo foi feito para a fase de aquecimento do forno 3i, mas procedeu-se do mesmo modo para o arrefecimento do mesmo forno e para o forno 4.

Potência absorvida

$$P_e = i_{abs}(A) \times \cos \phi \times \sqrt{3} \times Volt.(V) = 35 \times 0,98 \times \sqrt{3} \times 380 = 22575W \cong 23kW \quad (9)$$

Energia absorvida no aquecimento em cada ciclo

$$E_{abs.aq} = P_e(kW) \times t_{aquec.act.}(h) = 23 \times 7,9 = 177kW.h \quad (34)$$

Energia absorvida por mês (no ciclo todo, aquecimento e arrefecimento)

$$E_{absm} = E_{abst} \times n^\circ ciclos_{(mês)} = 329 \times 43 = 14159kW.h \quad (35)$$

- Cálculo da redução de massa de refractário:

- Densidade específica do Carboneto de silício

Exemplo feito para a barra de carboneto de silício B4.

$$V_{B4} = (1300 \times 40 \times 40) - (1300 \times (40 - 14) \times (40 - 14)) = 2080000 - 878800 = 1201200mm^3 = 1201cm^3 \quad (36)$$

$$\rho_{SiC} = \frac{m_{B4}(kg)}{V_{B4}(cm^3)} = \frac{3,700}{1201} = 0,00308kg/cm^3 \quad (37)$$

- Densidade específica da Cordierite

Exemplo feito para a placa de cordierite P12.

$$V_{P12} = 5380cm^3$$

$$\rho_{cord} = \frac{m_{P12}(kg)}{V_{P12}(cm^3)} = \frac{10,400}{5380} = 0,00193kg/cm^3 \quad (38)$$

Usando o valor da massa das peças de material refractário de cordierite, é possível calcular o seu volume a partir da sua densidade específica.

O exemplo que se apresenta seguidamente é da placa de cordierite P1.

$$V_{P1} = \frac{m_{P1}(kg)}{\rho_{cord}(kg/cm^3)} = \frac{14,500}{0,00193} = 7513cm^3 \quad (39)$$

Depois de se determinar o volume actual das peças de cordierite, bem como a sua espessura, pode ser calculado o volume e a massa que estas teriam se fossem feitas de carboneto de silício com 8 mm de espessura.

$$V_{SiCP1} = \frac{8(mm) \times V_{P1}(cm^3)}{Esp_{cordP1}(mm)} = \frac{8 \times 7513}{40} = 1503cm^3 \quad (3)$$

$$m_{SiCP1} = V_{SiCP1} \times \rho_{SiC} = 1503 \times 0,00308 = 4,63kg \quad (4)$$

- Percentagem de redução de massa de refractário:

Para o forno 4, existe uma redução de massa de:

$$\%_{Red.massa} = \frac{(m_{ref.act.}(kg) - m_{ref.alter.}(kg)) \times 100}{m_{ref.act.}(kg)} = \frac{(9103 - 5812) \times 100}{9103} = 36\% \quad (40)$$

- Caudal de ar parasita no forno 4:

- Ar que entra pela entrada do forno:

Altura útil do forno – 0,75 m

Largura útil do forno – 2,1 m

$$A_{entF4} = A_{saiF4} = 1,58 m^2$$

Considerando que em 60% da área da entrada, existe uma velocidade de entrada de ar no forno de 1,49 m/s, então o caudal volumétrico nesta secção é:

$$\dot{V}Ar_{ent} = A_{entF4} \times v_{Arent} = 0,945 \times 1,49 = 1,41 m^3 / s = 5069 m^3 / h \quad (41)$$

Nos restantes 40% da área da entrada, existe uma velocidade de entrada de ar no forno de 0,5 m/s, então o caudal volumétrico nesta secção é:

$$\dot{V}Ar_{ent} = A_{entF4} \times v_{Arent} = 0,63 \times 0,5 = 0,32 m^3 / s = 1134 m^3 / h \quad (42)$$

Então o caudal volumétrico de ar que penetra pela entrada é igual a:

$$\dot{V}Ar_{ent} = 5069 + 1134 = 6023 m^3 / h$$

- Ar que entra pela saída do forno:

Considerando que em 60% da área da saída, existe uma velocidade de entrada de ar no forno de 0,4 m/s, então o caudal volumétrico nesta secção é:

$$\dot{V}Ar_{sai} = A_{saiF4} \times v_{Arsai} = 0,945 \times 0,4 = 0,378 m^3 / s = 1361 m^3 / h \quad (43)$$

Nos restantes 40% da área da saída, existe uma velocidade de entrada de ar no forno de 0,13 m/s, então o caudal volumétrico nesta secção é:

$$\dot{V}Ar_{sai} = A_{saiF4} \times v_{Arsai} = 0,63 \times 0,13 = 0,085 m^3 / s = 304 m^3 / h \quad (44)$$

Então o caudal volumétrico de ar que penetra pela saída é igual a:

$$\dot{V}Ar_{sai} = 1361 + 304 = 1665 m^3 / h$$

- Ar que entra pelos frisos da cave do forno:

Sendo que:

Espessura dos frisos – 0,02 m

Afrisos=1,56 m²

v_{arfrisos}=0,20 m/s

Então o caudal volumétrico de ar que entra por estes frisos é:

$$\dot{V}Ar_{frisos} = A_{frisos} \times v_{Arfrisos} = 1,56 \times 0,2 = 0,312 m^3 / s = 1123 m^3 / h \quad (45)$$

- Ar que entra pelos espaços entre as vagonas do forno:

Tendo em conta que:

Espaço entre vagonas ($dist_{ev}$) – 0,005 m

Largura útil do forno (l_{F4}) – 2,1 m

Nº vagonas onde se considera existir este fenómeno – 35

$v_{arev} = 0,20$ m/s

A área de entrada de ar é de:

$$A_{ev} = n^{\circ} vagonas \times dist_{ev} \times l_{F4} = 35 \times 0,005 \times 2,1 = 0,37 m^2 \quad (46)$$

Então o caudal volumétrico de ar que entra por este espaço é:

$$\dot{V}Ar_{ev} = A_{ev} \times v_{Arev} = 0,37 \times 0,2 = 0,074 m^3 / s = 265 m^3 / h \quad (47)$$

- Caudal mássico estequiométrico de ar nos vários grupos de queima:

Este cálculo foi feito para o 2º grupo de queima do forno 4.

$$\dot{m}Ar_{est} (kg_{ar} / h) = \dot{m}_{gn} (kg_{gasnatural} / h) \times razão_{est} (kg_{Ar} / kg_{gásnatural}) = 18,90 \times 15,40 = 291 kg / h \quad (48)$$

Nos restantes ventiladores, o cálculo do caudal mássico de ar estequiométrico foi feito do mesmo modo.

- Caudal mássico real de ar nos grupos de queima do forno 4:

Tendo em conta que os grupos de queima deste forno trabalham com 10% de excesso, a quantidade de ar real que entra no segundo grupo de queima é:

$$\dot{m}_{arq} = Excesso \times \dot{m}Ar_{est} (kg / h) = 1,10 \times 291 = 320 kg / h \quad (6)$$

- Caudal mássico real de ar nos grupos de queima do forno 3i:

Para fazer este cálculo, foi necessário ler as percentagens de Oxigénio, numa curva da %O₂ em função do tempo de cozedura. Esta percentagem serviu para determinar o excesso de ar presente ao longo da cozedura. Este gráfico encontra-se na figura C.3 destes anexos.

Depois de ter sido obtido o valor de excesso de ar ao longo do tempo, calcula-se o caudal mássico de ar real do modo apresentado anteriormente.

- Balanço Energia ao forno 4:

- Correntes Entrada

Caudal térmico de combustão - Gás natural

$$\begin{aligned} Q_{gn} &= \dot{m}_{gn} (kg / h) \times (PCI(kJ / kg) + (Cp_{gn} (kJ / kgK) \times (T_{gn} (K) - T_r (K)))) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow Q_{gn} &= 80,88 \times (44454 + (2,00 \times (298 - 273))) = 3,60 \times 10^6 \text{ kJ} / h \end{aligned} \quad (7)$$

Caudal térmico da energia eléctrica

$$Q_e = Pe(kJ / s) \times 3600(s / h) = 65 \times 3600 = 2,32 \times 10^5 \text{ kJ} / h \quad (8)$$

Caudal térmico do ar queima

$$\begin{aligned} Q_{arq} &= \dot{m}_{arq(bs)}(kg/h) \times (Cp_{arq}(kJ/kgK) \times (T_{arq(K)} - T_r(K))) + w_{arq}(kg_{H_2O}/kg_{ar seco}) \times (Cp_{vapH_2O}(kJ/kgK) \times (T_{arq(K)} - T_r(K)) + \lambda_{vapH_2O}(kJ/kg)) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow Q_{arq} &= 1370 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,84 \times (298 - 273) + 2480)) = 6,14 \times 10^4 \text{ kJ/h} \end{aligned} \quad (10)$$

Caudal térmico do refractário

$$\begin{aligned} Q_{refe} &= \dot{m}_{refe}(kg/h) \times Cp_{ref}(kJ/kgK) \times (T_{refe}(K) - T_r(K)) \Leftrightarrow \\ Q_{refe} &= 772 \times 1,46 \times (298 - 273) = 2,82 \times 10^4 \text{ kJ/h} \end{aligned} \quad (11)$$

Caudal térmico da louça

$$\begin{aligned} Q_{loue} &= (\dot{m}_{loue}(kg/h) \times Cp_{lou}(kJ/kgK) + \dot{m}_{H_2O}(kg/h) \times Cp_{H_2O}(kJ/kgK)) \times (T_{loue}(K) - T_r(K)) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow Q_{loue} &= (697 \times 1,9 + 7 \times 1,83) \times (298 - 273) = 3,31 \times 10^4 \text{ kJ/h} \end{aligned} \quad (12)$$

Caudal térmico do ar entrada forno

$$Q_{aef} = 7272 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 3,26 \times 10^5 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar saída forno

$$Q_{asf} = 1952 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 8,75 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar entre vagons

$$Q_{aev} = 310 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 1,39 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar frisos cave

$$Q_{afc} = 1317 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 5,90 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar tecto

$$Q_{art} = 395 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 1,77 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar refrigeração brusca

$$Q_{arb} = 1382 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 6,20 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar refrigeração normal

$$Q_{arn} = 1322 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 5,93 \times 10^4 \text{ kJ/h}$$

Caudal térmico do ar contravenc

$$Q_{arc} = 4047 \times (0,99 \times (298 - 273) + 0,008 \times (1,83 \times (298 - 273) + 2480)) = 1,81 \times 10^5 \text{ kJ/h}$$

- Correntes Saída

Perdas de calor em superfícies quentes - Perdas por radiação e convecção

Apresenta-se seguidamente o exemplo do cálculo feito para as leituras da temperatura da parede direita aos 0 e aos 3 m.

$$T_{pd}(0m) = 23,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{pd}(3m) = 22,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{pdmed} = 23,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A_{pd} = 5,42 \text{ m}^2$$

$$U_r = 20,4 \times \varepsilon \times \frac{\left(\frac{T_{pdmed} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{amb} + 273}{100}\right)^4}{(T_{pdmed} - T_{amb})} = 20,4 \times 0,6 \times \frac{\left(\frac{23,1 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100}\right)^4}{(23,1 - 20)} \Leftrightarrow$$
$$\Leftrightarrow U_r = 12,51 \text{ kJ/(h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$
(13)

$$U_c = B_p \times (T_{pdmed} - T_{amb})^{0,25} = 5,22 \times (23,1 - 20)^{0,25} = 6,93 \text{ kJ/(h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C)}$$
(14)

Para o tecto o cálculo é feito da mesma forma mas o valor de Bp é diferente, uma vez que este para o tecto é 6,12.

$$U_{pd} = U_r + U_c = 12,51 + 6,93 = 17,93 \text{ kJ} / (\text{h m}^2 \text{ } ^\circ \text{C}) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{pd} &= U_{pd} (\text{kJ} / (\text{h m}^2 \text{ } ^\circ \text{C})) \cdot A_{pd} (\text{m}^2) \cdot (T_{pdmed} (^\circ \text{C}) - T_{amb} (^\circ \text{C})) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \dot{Q}_{pd} = 17,93 \times 5,42 \times (23,1 - 20) = 326 \text{ kJ} / \text{h} \end{aligned} \quad (16)$$

Foram depois somadas todas as parcelas das perdas de calor, do restante comprimento do forno.

Caudal térmico dos gases de combustão- Ar quente da etapa de arrefecimento

$$Q_{caqa} = 6260 \times (1,01 \times (413 - 273) + 0,01 \times (1,85 \times (413 - 273) + 2480)) = 1,06 \times 10^6 \text{ kJ} / \text{h}$$

Caudal térmico dos gases de combustão- chaminé sem ventilador

$$Q_{csv} = 1387 \times (1,03 \times (723 - 273) + 0,10 \times (1,92 \times (723 - 273) + 2480)) = 1,11 \times 10^6 \text{ kJ} / \text{h}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{csv} &= (\dot{m}_{arq} + \dot{m}_{art} + \dot{m}_{arb} + \dot{m}_{arn} + \dot{m}_{arc} + \dot{m}_{aef} + \dot{m}_{asf} + \dot{m}_{afc} + \dot{m}_{aev}) - (\dot{m}_{cta} + \dot{m}_{caqa}) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \dot{m}_{csv} = (1381 + 399 + 1393 + 1333 + 4080 + 7331 + 1968 + 1327 + 313) - (11660 + 6323) \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow \dot{m}_{csv} = 1541 \text{ kg}_{arhum} / \text{h} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{csv(b.s)} = 1541 - (1541 \times 0,1) = 1387 \text{ kg}_{ar seco} / \text{h}$$

Caudal térmico dos gases de combustão- tiragem aspiradora

$$Q_{cta} = 11310 \times (1,02 \times (393 - 273) + 0,03 \times (1,85 \times (393 - 273) + 2480)) = 2,30 \times 10^6 \text{ kJ} / \text{h}$$

Caudal térmico do refractário

$$Q_{refr} = 772 \times 1,46 \times (315 - 273) = 4,74 \times 10^4 \text{ kJ} / \text{h}$$

Caudal térmico da louça

$$Q_{lous} = \dot{m}_{lous} \times Cp_{lou} \times (T_{lous} - T_r) = 651 \times 1,9 \times (306 - 273) = 4,08 \times 10^4 \text{ kJ/h} \quad (18)$$

- **Balanço Energia ao forno 3i:**

Este forno tem as seguintes diferenças de cálculo em relação ao do forno 4:

No cálculo do caudal térmico associado ao refractário e à louça, é utilizada a diferença entre as temperaturas inicial e final de cada segmento de tempo. De seguida encontra-se um exemplo deste cálculo (para o refractário), para um tempo igual a 0,75 h.

$$\begin{aligned} Q_{refe} &= \dot{m}_{refe} (\text{kg/ciclo}) \times Cp_{ref} (\text{kJ/kgK}) \times (T_f (K) - T_i (K)) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow Q_{refe} &= 1245 \times 1,46 \times (423 - 373) = 9,11 \times 10^4 \text{ kJ/ciclo} \end{aligned} \quad (49)$$

No que diz respeito ao cálculo das perdas de calor por radiação e convecção, o exemplo de cálculo mostrado diz respeito às leituras da temperatura da parede direita, entre os pontos 1 e 2 e para uma temperatura interna do forno de 200°C.

$$\bar{T}_1 = 39,30^\circ \text{C}$$

$$\bar{T}_2 = 56,25^\circ \text{C}$$

$$T_{pdmed} = 47,8^\circ \text{C}$$

$$A_{pd} = 8,63 \text{ m}^2$$

$$U_r = 20,4 \times \varepsilon \times \frac{\left(\frac{T_{pdmed} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{amb} + 273}{100} \right)^4}{(T_{pdmed} - T_{amb})} = 20,4 \times 0,6 \times \frac{\left(\frac{47,8 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4}{(47,8 - 20)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow U_r = 14,18 \text{ kJ/(h m}^2 \text{ }^\circ \text{C)} \quad (13)$$

$$U_c = B_p \times (T_{pdmed} - T_{amb})^{0,25} = 5,22 \times (47,8 - 20)^{0,25} = 11,98 \text{ kJ/(h m}^2 \text{ }^\circ \text{C)} \quad (14)$$

Para o tecto o cálculo é feito da mesma forma mas o valor de Bp é diferente, uma vez que este para o tecto é 6,12.

$$U_{pd} = U_r + U_c = 14,18 + 11,98 = 26,16 \text{ kJ} / (\text{hm}^2 \text{ } ^\circ \text{C}) \quad (15)$$

$$\dot{Q}_{pd} = U_{pd} \cdot A_{pd} \cdot (T_{pdmed} - T_{amb}) = 26,16 \times 8,63 \times (47,8 - 20) = 6268 \text{ kJ} / \text{h} \quad (16)$$

Depois de somar todas as parcelas dos fluxos de calor pela parede direita, obtém-se o seguinte resultado:

$$\dot{Q}_{tpd} = 22087 \text{ kJ} / \text{h}$$

Logo o calor perdido por esta parede, no intervalo de tempo em que o forno tem uma temperatura interna de 200 °C é:

$$Q_{pd} = \dot{Q}_{tpd} \times t_{ciclo} = 22087 \times 1,22 = 26946 \text{ kJ} \quad (19)$$

Foram depois adicionadas todas as fracções do calor perdido, nas três superfícies do forno (face esquerda, direita e tecto), para todas as temperaturas interiores do forno.

Quanto ao caudal térmico associado aos gases de combustão, este foi calculado com um valor de Cp variável, conforme a temperatura dos vários patamares de tempo e a respectiva composição dos gases de combustão. Esta composição foi conseguida através da tabela A.9, com o valor de excesso de ar em cada intervalo de tempo.

Para determinar o caudal citado anteriormente, é necessário saber o caudal mássico de gases de combustão. Para a um tempo igual a 0,75 h este é dado por:

$$\dot{m}_{gc} = \dot{m}_{arq} + \dot{m}_{comb} = 12092 + 112 = 12204 \text{ kg} / \text{ciclo} \quad (50)$$

Para calcular o caudal térmico associado ao ar de arrefecimento foi preciso determinar inicialmente o caudal mássico de ar de arrefecimento. Para tal foi determinado o caudal térmico que era necessário retirar ao refractário e à louça durante a cozedura, este para um tempo de cozedura de 9,90 h é dado por:

$$\begin{aligned}
Q_{ret.arref.} &= Q_{ret.ref.} + Q_{ret.lou.} = (\dot{m}_{refact} \times Cp_{ref} \times (T_i - T_f)) + (\dot{m}_{lous} \times Cp_{lou} \times (T_i - T_f)) \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow Q_{ret.arref.} = (1245 \times 1,46 \times (1448 - 1173)) + (5974 \times 1,9 \times (1448 - 1173)) \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow Q_{ret.arref.} = 3,62 \times 10^6 \text{ kJ/ciclo}
\end{aligned} \tag{20}$$

Este valor é então utilizado para saber o caudal de ar de arrefecimento, do seguinte modo:

$$\dot{m}_{ararref.} = \frac{Q_{ret.arref.}}{Cp_{aa} \times (T_i - T_{entar})} = \frac{3,62 \times 10^6}{0,99 \times (1448 - 298)} = 3182 \text{ kg/ciclo} \tag{21}$$

- **Poupanças resultantes da substituição do material refractário**

Ao proceder à substituição parcial do refractário, há uma redução do caudal térmico consumido durante a cozedura.

Para o forno 3i, o cálculo da redução do caudal térmico consumido neste forno é feito de modo semelhante ao feito anteriormente para o forno 4, com a única diferença que neste caso se utiliza a diferença entre as temperaturas de entrada e saída de cada patamar, isto no arrefecimento e aquecimento. A redução de consumo de caudal térmico durante o aquecimento é utilizada para calcular a poupança em termos de gás natural, já a redução durante o arrefecimento serve para determinar a poupança em energia eléctrica.

A redução do caudal térmico consumido vai proporcionar uma diminuição do tempo do ciclo de cozedura, este é calculado através da soma da redução do tempo no aquecimento e no arrefecimento. Estes são determinados do seguinte modo:

$$\begin{aligned}
C.tér.aquec.act. &= \frac{Q_{ref.aquec.} (kJ / ciclo) + Q_{lou.aquec.} (kJ / ciclo) - Q_{per.aquec.} (kJ / ciclo)}{t_{aquec.act.} (h / ciclo)} \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow C.tér.aquec.act. = \frac{1,96 \times 10^6 + 1,33 \times 10^7 - 3,15 \times 10^6}{9,07} = 2,03 \times 10^6 \text{ kJ/h}
\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
t_{aquec.alt.} &= \frac{Q_{ref.aquec.alt.} + Q_{lou.aquec.} + Q_{per.aquec.}}{C.tér.aquec.act.} = \frac{8,80 \times 10^5 + 1,33 \times 10^7 + 3,15 \times 10^6}{2,03 \times 10^6} \Leftrightarrow \\
&\Leftrightarrow t_{aquec.alt.} = 8,53 \text{ h / ciclo}
\end{aligned} \tag{24}$$

$$\text{Red. tempo}_{aquec.} = 9,07 - 8,53 = 0,53 \text{ h / ciclo}$$

$$C.tér_{arref.act.} = \frac{Q_{ref.arref.}(kJ/ciclo) + Q_{lou.arref.}(kJ/ciclo) - Q_{per.arref.}(kJ/ciclo)}{t_{arref.act.}(h/ciclo)} \Leftrightarrow \quad (51)$$

$$\Leftrightarrow C.tér_{arref.act.} = \frac{2,00 \times 10^6 + 1,32 \times 10^6 - 2,37 \times 10^6}{7,85} = 1,64 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

$$t_{arref.alt.} = \frac{Q_{ref.arref.alt.} + Q_{lou.arref.} - Q_{per.arref.}}{C.tér_{arref.act.}} = \frac{8,97 \times 10^5 + 1,32 \times 10^7 - 2,37 \times 10^6}{1,64 \times 10^6} \Leftrightarrow \quad (52)$$

$$\Leftrightarrow t_{arref.alt.} = 7,18 \text{ h/ciclo}$$

$$\text{Red.tempo}_{arref.} = 7,85 - 7,18 = 0,67 \text{ h/ciclo}$$

Logo a redução total no tempo de ciclo é de:

$$t_{novociclo} = 16,92 - (0,53 + 0,67) = 15,71 \text{ h/ciclo}$$

E o número de ciclo por mês com esta redução passa a ser:

$$n^{\circ} \text{ ciclos}_{alt.ref.} = \frac{30(dias) \times 24(h/dia)}{15,71(h/ciclo)} = 46 \text{ ciclos} \quad (26)$$

A poupança neste forno é resultante da redução do caudal térmico consumido de $1,08 \times 10^6$ kJ/ciclo (aquecimento) e de $1,10 \times 10^6$ kJ/ciclo (arrefecimento), contabilizando os 46 ciclos por mês que passam a ser efectuados e um preço do gás natural de 0,29 €/Nm³ e de energia eléctrica de 0,07 €/kW.h.

O volume de gás natural que é poupado no aquecimento é:

$$V_{gecon} = \frac{Red_{ctcaq}(kJ/ciclo)}{PCI(kJ/Nm^3)} = \frac{1,08 \times 10^6}{37995} = 28 \text{ Nm}^3 / ciclo \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{Poupança}_{gn} &= V_{gecon} \times \text{preço}_{gnat} (\text{€/Nm}^3) = 28 \times 0,29 = 8,23 \text{ €/ciclo} \\ \text{Poupança}_{gn} &= 8,23 \times 46 (\text{ciclos/mês}) = 377 \text{ €/mês} = 4.149 \text{ €/ano} \end{aligned} \quad (53)$$

Enquanto que a energia eléctrica que é poupada num ciclo durante o arrefecimento é:

$$Re d_{ctcar} (kJ / h) = \frac{Re d_{ctcar} (kJ / ciclo)}{t_{arref.act.} (h / ciclo)} = \frac{1,10 \times 10^6}{7,85} = 1,40 \times 10^5 kJ / h \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow Re d_{ctcar} = 39 kW = 305 kW.h$$
(54)

$$Poupan\c{c}a_{ee} = Re d_{ctcar} \times pre\c{c}o_{en.elect.} (\text{€} / kW.h) = 305 \times 0,07 = 21,36 \text{ €} / ciclo$$

$$Poupan\c{c}a_{ee} = 21,36 \times 46 (ciclos / m\acute{e}s) = 979 \text{ €} / m\acute{e}s = 10766 \text{ €} / ano$$
(55)

A redu\c{c}ão do caudal térmico consumido para o forno 4 foi determinada através da diferença entre o valor do caudal térmico associado ao refractário antes e depois da alteração. Com um caudal térmico associado ao refractário actual igual a $1,35 \times 10^6$ kJ/h, o caudal térmico após a alteração do refractário é dado por:

$$Q_{ref.alt} = \dot{m}_{ref.alt.} \times C_{p_{ref.alt.}} \times (T_{max.ref} - T_r) = 367 \times 1,37 \times (1473 - 273) = 6,03 \times 10^5 kJ / h$$
(56)

$$Re d_{ctc} = Q_{ref.act} - Q_{ref.alt} = 1,35 \times 10^6 - 6,03 \times 10^5 = 7,49 \times 10^5 kJ / h$$
(57)

No forno 4 a poupan\c{c}a é calculada da mesma forma da fase aquecimento do forno 3i.

Foi ainda considerada a diminui\c{c}ão do número de peças com defeitos após a cozedura, resultante da substitui\c{c}ão do material refractário. Considerando que:

Peças com defeito após cozedura ($\%def_{lou.coz}$) = 1,2%

Valor comercial médio das peças ($Valor_{com.pe\c{c}as}$) = 28,00 €/peça

Acréscimo do número de peças que podem ser vendidas ($Aumento_{pe\c{c}asaprov.}$) = 15%

Para o forno 4, onde são cozidas anualmente 429.000 peças, esta poupan\c{c}a é dada por:

$$N^{\circ} pe\c{c}as_{def.act} = \%def_{lou.coz} \times N^{\circ} pe\c{c}as_{coz.} = 0,012 \times 429000 = 5148 pe\c{c}as / ano$$
(58)

$$Aumento_{pe\c{c}asaprov.} = \%aumento_{aprov.} \times N^{\circ} pe\c{c}as_{def.act} = 0,15 \times 5148 = 772 pe\c{c}as / ano$$
(59)

$$Poupan\c{c}a_{def} = Valor_{com.pe\c{c}as} \times Aumento_{pe\c{c}asaprov.} = 28,00 \times 772 = 21.622\text{€} / ano \quad (60)$$

No final, foram somadas as cinco parcelas da poupança proveniente da troca de refractário (resultantes do aquecimento e arrefecimento do forno 3i, do aquecimento do forno 4 e ainda da diminuição do número de peças com defeito após a cozedura (nos dois fornos)).

- **Investimento em refractário**

Para saber o valor total investido em refractário, foi necessário calcular inicialmente a área das placas a comprar e depois multiplicar esse valor pelo preço das mesmas, que se encontra definido em €/m².

Seguidamente é mostrado o exemplo de cálculo para a placa B, da tabela A.20, que tem uma área de 0,160 m², um preço de 376,82 €/m² e uma quantidade a encomendar de 500 unidades.

$$Pre\c{c}o_{unit} = \acute{A}rea \times pre\c{c}o \text{ (€ / m}^2\text{)} = 0,160 \times 376,82 = 60,10\text{€} \quad (61)$$

$$Pre\c{c}o_{total} = pre\c{c}o_{unit} \times Quant_{enc.} = 60,10 \times 500 = 30051\text{€} \quad (62)$$

- **Tempo de retorno do investimento**

Sendo o investimento realmente suportado pela empresa de 101832 € e a poupança conseguida pela substituição parcial do refractário nos dois fornos de 89310 €/ano, o tempo de retorno do investimento é dado por:

$$t_{retornoinv.} = \frac{Investimento_{ref.} \text{ (€)}}{Poupan\c{c}a_{total} \text{ (€ / ano)}} = \frac{101832}{89310} = 1,14 \text{ anos} \quad (28)$$

- **Taxa interna de rentabilidade**

Para determinar este valor houve que calcular inicialmente os fluxos de caixa líquidos, correspondentes a cada ano. Estes calculam-se somando o valor do investimento ao do benefício nesse ano. Por exemplo para o ano zero obtém-se:

$$Fluxocaixa_{liquido} = -Investimento_{ref.} + Beneficio = -101.832 + 0 = -101.832€ \quad (63)$$

Os valores dos fluxos de caixa líquidos, para os 3 primeiros anos de implementação do projecto, serviram para determinar o valor da TIR.

- **Valor actual líquido**

Para determinar este valor houve que calcular os fluxos de caixa líquidos actualizados para o momento presente, a uma taxa de 6%. Estes valores foram calculados através dos fluxos de caixa líquidos, como se pode ver no exemplo seguinte para o ano zero.

$$Fluxocaixa_{liquidoactualizado} = Fluxocaixa_{liquido} \times (1 + taxa)^{-Ano} = -101.832 \times (1 + 6\%)^{-0} = -101.832€ \quad (64)$$

A soma de todos os valores de fluxos de caixa actualizados, para os 3 anos, permite obter o valor actual líquido (VAL).

Anexo C – Gráficos utilizados para leituras

- Curva característica dos ventiladores do forno 4

- Tiragem aspiradora

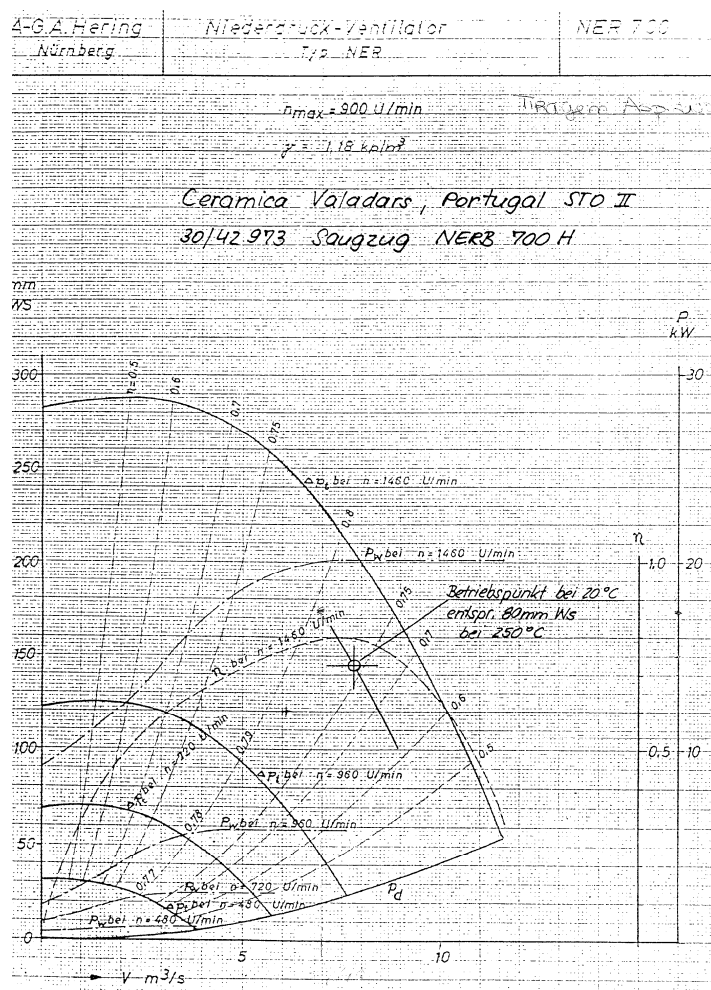


Figura C.1 – Curva característica do ventilador da tiragem aspiradora, do forno 4.

- Ar quente da etapa de arrefecimento

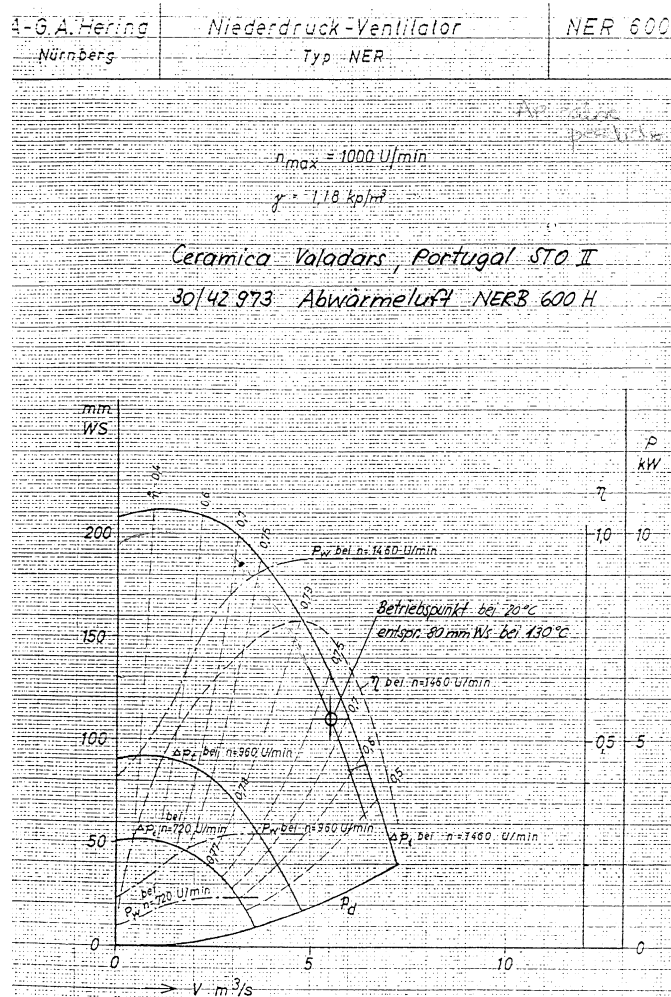


Figura C.2 – Curva característica do ventilador do ar quente da etapa de arrefecimento, do forno 4.

- Gráfico da %O₂ em função do tempo de cozedura, para o forno 3i

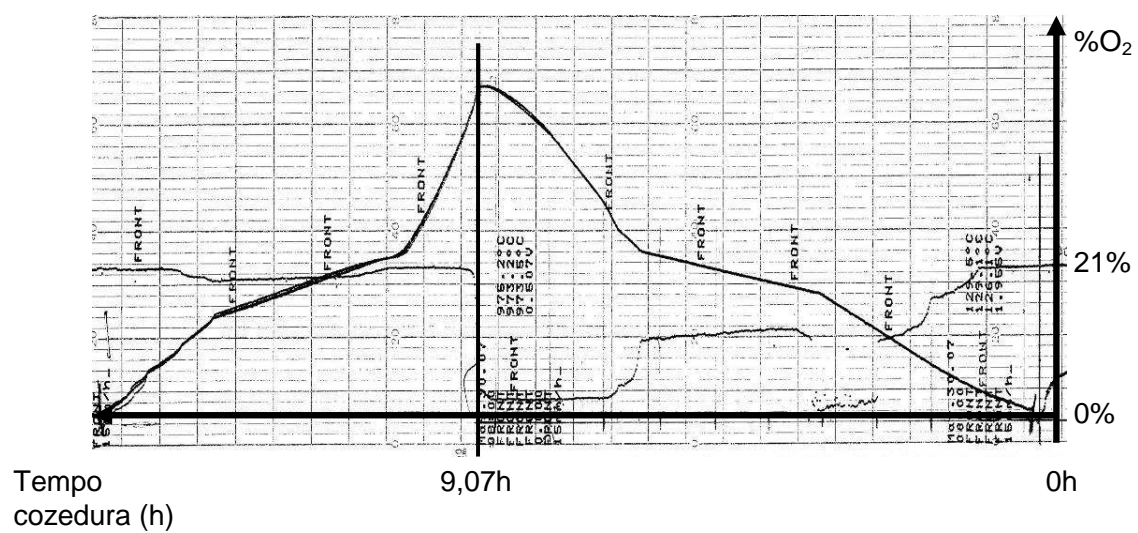


Figura C.3 – Curva da percentagem de Oxigénio em função do tempo de cozedura, para o forno intermitente 3i.

- Gráfico da pressão em função do caudal volumétrico nos ventiladores do forno 4

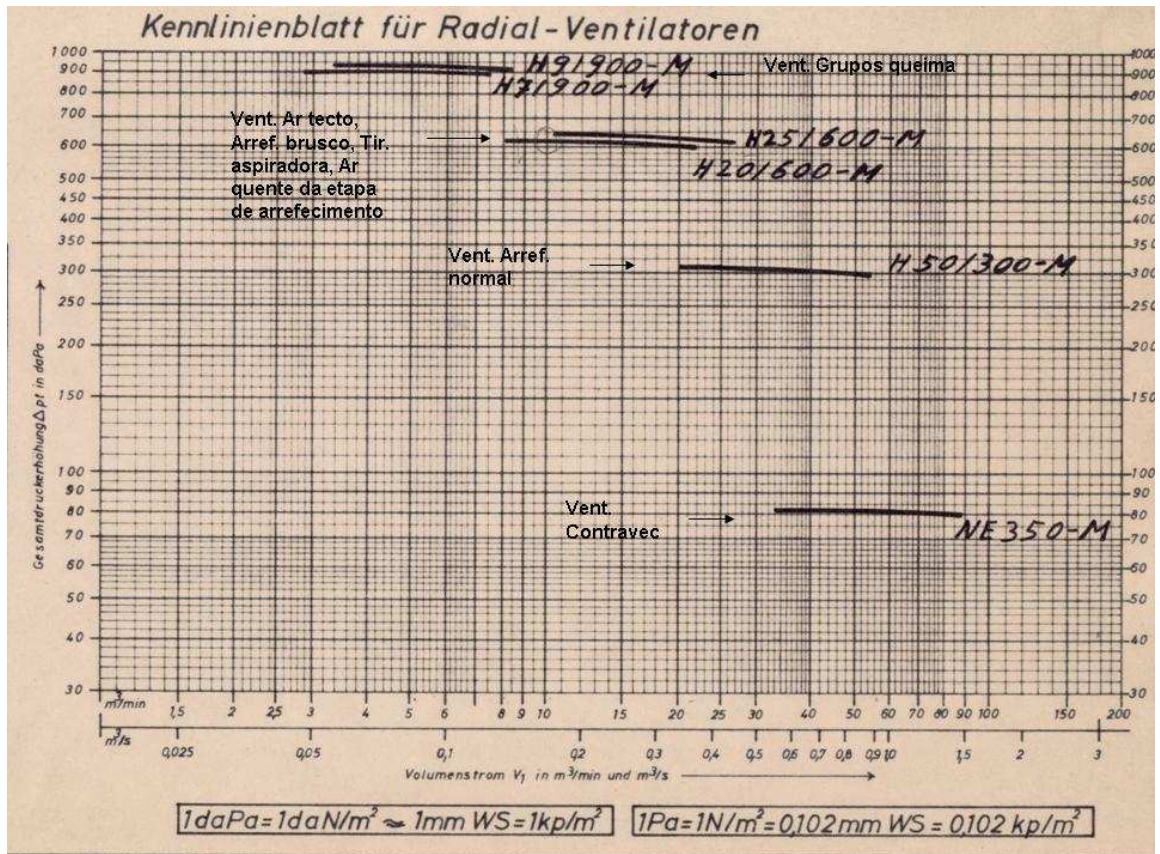


Figura C.4 – Representação da Pressão em função do caudal volumétrico, nos ventiladores do forno 4.

Anexo D – Características do anemómetro utilizado para as medições da velocidade do ar:

Modelo – LCA 6000

Marca – Air Flow

Gama de utilização:

- **Velocidade** – 0-30 m/s

- **Temperaturas** – -10 °C a 50 °C

- **Pressão** – 500 mbar a 2 bar

Precisão a 20 °C e 1013 mbar – $\pm 2\%$

Dimensões – 268x113x43 mm

Anexo E – Ficha de dados de segurança do combustível

Neste anexo encontra-se um excerto da ficha de dados de segurança do gás natural da empresa Portgás, com alguns dos dados que foram utilizados nos cálculos.

2. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

COMPOSIÇÃO MÉDIA DE REFERÊNCIA

Metano (83,70%)	n-Butano (0,40%)	Azoto (5,40%)
Etano (7,60%)	i-Pentano (0,08%)	Dióxido de Carbono (0,23%)
Propano (1,92%)	n-Pentano (0,09%)	Hélio (0,20%)
i-Butano (0,30%)	n-Hexano (0,08%)	

Limite superior de inflamabilidade (% v/v): 15 (Metano).

Densidade (Kg/m³): 0,8547 (T=0°C); 0,8098 (T=15°C). ⁽¹⁾

Densidade relativa: 0,6625 (T=0°C); 0,6620 (T=15°C). ⁽¹⁾

Densidade do vapor: 0,55 (Metano).

Poder calorífico superior (KJ/m³): 42,037 (T=0°C); 39,848 (T=15°C). ⁽¹⁾

Poder calorífico inferior (KJ/m³): 37,995 (T=0°C); 36,020 (T=15°C). ⁽¹⁾

Anexo F – Capacidades caloríficas

Na figura em baixo encontram-se representadas as constantes utilizadas para o cálculo das capacidades caloríficas do ar, dos gases de combustão e da água.

Tabela C. CAPACIDADES CALORÍFICAS MOLARES DE GASES A PRESSÃO ZERO*

$c_p^* = a + bT + cT^2 + dT^3$; ($T = ^\circ K$) cal / (gmol K)

por K. A. Kobe e colaboradores «Thermochemistry for the Petrochemical Industry»
Petroleum Refiner, Jan. 1949 até Nov. 1954

		a	b × 10 ³	c × 10 ⁵	d × 10 ⁸	Intervalo de Temperatura °K	Máx. %	Erro Médio %
Hidrocarbonetos parafínicos								
Metano	CH ₄	4,750	1,200	0,3030	-2,630	273-1500	1,33	0,57
Etano	C ₂ H ₆	1,648	4,124	-1,530	1,740	273-1500	0,83	0,28
Propano	C ₃ H ₈	-0,966	7,279	-3,755	7,580	273-1500	0,40	0,12
Butano-n	C ₄ H ₁₀	0,945	8,873	-4,380	8,360	273-1500	0,54	0,24
Isobutano	C ₄ H ₁₀	-1,890	9,936	-5,495	11,92	273-1500	0,25	0,13
Pentano-n	C ₅ H ₁₂	1,618	10,85	-5,365	10,10	273-1500	0,56	0,21
Hexano-n	C ₆ H ₁₄	1,657	13,19	-6,844	13,78	273-1500	0,72	0,20
Hidrocarbonetos monoolefínicos								
Etileno	C ₂ H ₄	0,944	3,735	-1,993	4,220	273-1500	0,54	0,13
Propileno	C ₃ H ₆	0,753	5,691	-2,910	5,880	273-1500	0,73	0,17
Buteno-1	C ₄ H ₈	-0,240	8,650	-5,110	12,07	273-1500	0,25	0,18
Isobuteno	C ₄ H ₈	1,650	7,702	-3,981	8,020	273-1500	0,11	0,06
cis-2-Buteno	C ₄ H ₈	-1,778	8,078	-4,074	7,890	273-1500	0,78	0,14
trans-2-Buteno	C ₄ H ₈	2,340	7,220	-3,403	6,070	273-1500	0,54	0,12
Hidrocarbonetos cicloparafínicos								
Ciclo-pentano	C ₅ H ₁₀	-12,957	13,087	-7,447	16,41	273-1500	1,00	0,25
Metil-ciclo-pentano	C ₆ H ₁₂	-12,114	15,380	-8,915	20,03	273-1500	0,86	0,23
1,4-diciclo-hexano	C ₆ H ₁₂	-15,935	16,454	-9,203	19,27	273-1500	1,57	0,37
1,3-diciclo-hexano	C ₆ H ₁₂	-15,070	18,972	-10,989	24,09	273-1500	0,92	0,22
Hidrocarbonetos aromáticos								
Benzeno	C ₆ H ₆	-8,650	11,578	-7,540	18,54	273-1500	0,34	0,20
Tolueno	C ₇ H ₈	-8,213	13,357	-8,230	19,20	273-1500	0,29	0,18
Etil benzeno	C ₈ H ₁₀	-8,398	15,935	-10,003	23,95	273-1500	0,34	0,19
Estireno	C ₈ H ₈	-5,968	14,354	-9,150	22,03	273-1500	0,37	0,23
Cumeno	C ₉ H ₁₀	-9,452	18,686	-11,869	28,80	273-1500	0,36	0,17
Acetilenos e Diolefinas								
Acetileno	C ₂ H ₂	5,21	2,2008	-1,559	4,349	273-1500	1,46	0,59
Metil acetileno	C ₃ H ₄	4,21	4,073	-2,192	4,713	273-1500	0,36	0,13
Dimetil acetileno	C ₄ H ₆	3,54	5,838	-2,760	4,974	273-1500	0,70	0,16
Propadieno	C ₃ H ₂	2,43	4,693	-2,781	6,484	273-1500	0,37	0,19
Butadieno-1,3	C ₄ H ₆	-1,29	8,350	-5,582	14,24	273-1500	0,91	0,47
Isopreno	C ₅ H ₈	-0,44	10,418	-6,762	16,93	273-1500	0,99	0,43
Gases de combustão (intervalo pequeno)								
Nitrogénio	N ₂	6,903	-0,03753	0,1930	-0,6861	273-1800	0,59	0,34
Oxigénio	O ₂	6,085	0,3631	-0,1709	0,3133	273-1800	1,19	0,28
Ar	Ar	6,713	0,04697	0,1147	-0,4696	273-1800	0,72	0,33
Hidrogénio	H ₂	6,952	-0,04576	0,09863	-0,2079	273-1800	1,01	0,26
Monóxido de carbono	CO	6,726	0,04001	0,1283	-0,5307	273-1800	0,89	0,37
Dióxido de carbono	CO ₂	5,316	1,4285	-0,8362	1,784	273-1800	0,67	0,22
Vapor de água	H ₂ O	7,700	0,04594	0,2521	-0,8587	273-1800	0,53	0,24
Gases de combustão (intervalo grande)								
Nitrogénio	N ₂	6,529	0,1488	-0,02271	--	273-3800	2,05	0,72
Oxigénio	O ₂	6,732	0,1505	-0,01791	--	273-3800	3,24	1,20
Ar	Ar	6,557	0,1477	-0,02148	--	273-3800	1,64	0,70
Hidrogénio	CO	6,424	0,1039	-0,007804	--	273-3800	2,14	0,79
Dióxido de carbono	CO ₂	Veja nota no fundo da página*				273-3800	2,65	0,54
Monóxido de carbono	CO	6,480	0,1566	-0,02387	--	273-3800	1,86	1,01
Vapor de água	H ₂ O	6,970	0,3464	-0,04833	--	273-3800	2,03	0,66
Compostos sulfurados								
Enxofre	S ₂	6,499	0,5298	-0,3888	0,9520	273-1800	0,99	0,38
Dióxido de enxofre	SO ₂	6,157	1,384	-0,9103	2,057	273-1800	0,45	0,24
Trióxido de enxofre	SO ₃	3,918	3,483	-2,875	7,744	273-1800	0,29	0,13
Sulfureto de hidrogénio	H ₂ S	7,070	0,3128	0,1364	-0,7887	273-1800	0,74	0,37
Disulfureto de carbono	CS ₂	7,390	1,489	-1,096	2,760	273-1800	0,76	0,47
Sulfureto de carbonilo	COS	6,222	1,536	-1,058	2,560	273-1800	0,94	0,49

* Reimpressão autorizada. No artigo original, as constantes também se dão para T, em graus Celsius, graus Fahrenheit e graus Rankine.

* Equação para CO₂, 273 a 3800 K: $c_p^* = 18,036 - 0,00004474T - 158,08 \sqrt{T}$

Figura F.1 – Valores das constantes empíricas utilizadas para o cálculo das capacidades caloríficas do ar, dos gases de combustão e da H₂O.